



Paulo Jorge Monteiro de Almeida

Licenciado em Engenharia Civil

**Análise e avaliação do estado de
conservação dos reservatórios elevados
dos Serviços Municipalizados de Água e
Saneamento de Almada**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Carlos Chastre Rodrigues, Prof. Doutor, FCT- UNL

Co-orientador: António Carmona Rodrigues, Prof. Doutor, FCT- UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho

Arguente: Prof. Doutor Válder José da Guia Lúcio

Vogal: Prof. Doutor Carlos Manuel Chastre Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2014



Análise e avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Doutor Carlos Manuel Chastre Rodrigues, Prof. Doutor, FCT- UNL

Co-orientador: António Carmona Rodrigues, Prof. Doutor, FCT- UNL

Paulo Jorge Monteiro de Almeida

Licenciado em Engenharia Civil

Setembro de 2014

**Análise e avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados dos
Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada**

Copyright Paulo Jorge Monteiro de Almeida, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL).

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Presidente do Conselho de Administração dos Serviços Municipalizados de Água Saneamento de Almada Dr. José Manuel Raposo Gonçalves por me ter proporcionado as condições para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Doutor Carlos Chastre, com profundo reconhecimento e gratidão por ter aceite ser meu orientador, pelo apoio e encorajamento prestados.

Ao meu co-orientador Professor Doutor António Carmona Rodrigues, pela sua dedicação e inestimáveis ensinamentos ao longo de todo o curso.

Ao Dr. Carlos Mendes, responsável pelos recursos humanos dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada, por ter sido o primeiro impulsionador da realização deste mestrado.

Ao Eng.º Nuno Serrano, Diretor do Departamento de Obras dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada pelo seu apoio e amizade.

Ao Eng.º Carlos Lima com quem trabalho diretamente, pela compreensão, tolerância e amizade incondicional.

Ao Eng.º Paulo Gonçalves e a todos os funcionários da central de Vale Milhaços, pela disponibilidade e prontidão demonstrada ao longo deste trabalho.

A todos os meus colegas do departamento de obras, por terem assegurado muitas vezes o trabalho que me permitiu ter tempo para concluir este mestrado.

Aos Bombeiros Voluntários de Cacilhas, na pessoa do seu comandante Miguel Silva, pelo apoio prestado na cedência dos meios de acesso que permitiram a realização da inspeção exterior do reservatório do Cassapo.

Ao meu irmão, pela sua amizade e ajuda prestada na operação de inspeção com Drone dos reservatórios elevados.

Ao meu estimado amigo João Miguel Costa Lopes pelo apoio informático prestado desde o primeiro momento até à impressão deste documento.

A todos os restantes amigos e colegas que desde o primeiro momento me incentivaram na realização deste mestrado.

Por último, mas não em último, à minha mulher Helena pelo apoio, incentivo, amizade, carinho e cumplicidade que tornaram possível a realização deste desafio, aos meus pais, às minhas filhas Carolina e Joana, ao Hugo e ao Gustavo pela incentivo incondicional e paciência demonstrada nos dias em que nem eu próprio me conseguia aturar.

RESUMO

Este trabalho resulta de uma necessidade por parte dos SMAS de Almada em fazer uma gestão sustentável do seu vasto património edificado. Desta forma decidiu-se fazer uma avaliação geral do estado de conservação dos 7 reservatórios elevados de abastecimento de água à população.

Da avaliação geral efetuada a todos os reservatórios elevados, foi possível constatar que de um modo geral se encontram num estado razoável de conservação com exceção do reservatório do Cassapo e Estrelinha. Esta análise permitiu escalonar prioridades no que diz respeito à sua reabilitação tendo sido escolhido o reservatório elevado do Cassapo para uma avaliação mais detalhada uma vez que apresenta diversas anomalias graves relacionadas com a sua durabilidade. O reservatório da Estrelinha não foi considerado prioritário por se encontrar fora de serviço.

O diagnóstico detalhado do reservatório do Cassapo permitiu fazer a sua caracterização estrutural, identificar os problemas existentes e a sua origem.

O reservatório cumpre o projeto no entanto apresenta anomalias graves resultantes da fase de construção agravadas pela sua natural degradação que comprometem o seu desempenho e durabilidade.

Com base no diagnóstico detalhado, apresentam-se medidas corretivas com vista à resolução dos problemas encontrados e propõem-se um estudo do comportamento sísmico do reservatório com vista à avaliação da possível necessidade de reforço estrutural.

Palavras-chave

Reservatório elevado; Diagnóstico; Reabilitação; Ensaios *in situ*; Corrosão de armaduras

ABSTRACT

This work arises from the requirement of SMAS (Almada) to make a sustainable management of its vast architectural heritage. So it was decided to make a general assessment of the conservation status of seven water towers belonging to the water supply system to the population.

Accordingly to the general assessment made on the water towers it could be said that in general the water towers are in a reasonable condition with the exception of Cassapo and Estrelinha. This analysis allowed sort priorities with regard to the rehabilitation. The Estrelinha water tower is out of service so its detailed diagnostic was not prioritized. In order to get deeper information concerning Cassapo water tower status a detail assessment was done to identify existing problems and its origins. Data collected during the study validated the project although serious anomalies were detected, arising from the construction phase worsen by the age, which compromise its performance.

Based on the comprehensive study corrective measures were presented to fix the problems encountered. A study concerning earthquake behaviour of the Cassapo water tower was proposed in order to include a structural strengthening in the rehabilitation project, in case of necessity

Key words

Water tower; Diagnostic; Rehabilitation; *In situ* tests; Corrosion of reinforcing steel

ÍNDICE DE MATÉRIAS	Pág.
Agradecimentos	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - ENQUADRAMENTO GERAL E NECESSIDADE DO ESTUDO.....	1
1.2 – OBJECTIVOS.....	2
1.3 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	2
2 - RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	5
2.1. – INTRODUÇÃO.....	5
2.2 - PROCESSOS CONSTRUTIVOS.....	6
2.3 – CONDICIONANTES.....	6
2.4 - OS RESERVATÓRIOS ELEVADOS AO LONGO DA HISTÓRIA.....	6
3 - RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE BETÃO ARMADO. DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS, REABILITAÇÃO E REFORÇO.....	13
3.1 – INTRODUÇÃO.....	13
3.2 - FATORES RELEVANTES NA CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO.....	14
3.3 - ANOMALIAS FREQUENTES DAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO.....	15
3.3.1 - Anomalias decorrentes do processo de construção.....	15
3.3.2 –Anomalias estruturais.....	16
3.3.3 - Anomalias de durabilidade.....	16
3.4 – Diagnóstico.....	17
3.4.1 – Ensaio em laboratório.....	17
3.4.1.1. – Ensaio estruturais.....	17
3.4.1.2. – Ensaio de durabilidade.....	18
3.4.2. – Ensaio <i>in-situ</i>	18
3.4.2.1. – Ensaio estruturais.....	18
3.4.2.2. - Ensaio de durabilidade.....	19
3.5 – TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E REFORÇO.....	21
3.5.1 Técnicas de proteção superficial.....	21
3.5.1.1 Impregnação.....	21

3.5.1.2 - Revestimento superficial.....	21
3.5.2 - Técnicas de prevenção de corrosão.....	22
3.5.3 - Técnicas de reparação de betão deteriorado.....	23
3.5.3.1 - Tratamento de fendas.....	23
3.5.3.2 - Argamassas e microbetão.....	23
3.5.3.3 –Reparação eletroquímica.....	23
3.5.4 - Reparação do betão.....	25
3.5.4.1 - Substituição do betão contaminado.....	25
3.6 – REFORÇO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO.....	26
3.7 – ASPETOS ECONÓMICOS.....	27
3.8 – REGULAMENTAÇÃO.....	28
4 - DIAGNÓSTICO SIMPLIFICADO DOS RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE ÁGUA POTÁVEL NO CONCELHO DE ALMADA.....	29
4.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ALMADA.....	29
4.1.1. – Introdução.....	29
4.1.2. - Caracterização geral do concelho de Almada.....	29
4.1.3. – O sistema de abastecimento de água.....	30
4.2. -MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS QUE CONSTITUEM O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	35
4.3 – METODOLOGIA.....	36
4.4. - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	37
4.4.1.- Definição do plano de inspeção face ao estado de conservação.....	40
5 - CASO DE ESTUDO: LEVANTAMENTO ESTRUTURAL E DIAGNÓSTICO PORMENORIZADO DO RESERVATÓRIO DO CASSAPO.....	41
5.1. – O RESERVATÓRIO DO CASSAPO.....	41
5.2 – METODOLOGIA.....	43
5.2.1. - Validação do projeto - conformidade do projeto com o executado.....	43
5.2.2. - Detecção de armaduras e avaliação do seu diâmetro e recobrimento.....	43
5.2.3. – Ensaios esclerométricos.....	44
5.2.4. - Determinação da percentagem de penetração de cloretos no betão.....	45
5.2.5. - Determinação da profundidade de carbonatação do betão.....	45
5.2.6- Extração de carotes.....	46

5.2.7- Medição da abertura de fendas.....	46
5.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
5.3.1. – Validação <i>in situ</i> do projeto.....	47
5.3.2. – Detecção de armaduras.....	48
5.3.2.1. – Análise dos resultados no interior do reservatório.....	49
5.3.2.2. – Análise dos resultados no exterior do reservatório.....	55
5.3.3. – Profundidade de carbonatação do betão.....	58
5.3.4. – Determinação da penetração de cloretos.....	58
5.3.5 – Ensaio esclerométrico.....	60
5.3.6. – Caracterização das carotes.....	61
5.3.7 – Levantamento das fendas existentes no reservatório elevado do Cassapo.....	64
5.3.8. – Outras anomalias relevantes.....	66
5.3.8.1 - Juntas de betonagem.....	66
5.3.8.2. - Compactação e vibração do betão.....	67
5.3.8.3. – Pintura.....	67
5.3.9. – Medidas corretivas.....	68
5.3.9.1. - Reparação de anomalias resultantes da corrosão de armaduras.....	68
5.3.9.2. - Reparação de fendas.....	69
5.3.9.3. - Aplicação de revestimento de proteção superficial.....	69
5.3.9.4. - Reparação de juntas de betonagem.....	70
6 – CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....	71
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS	
Anexo A (Desenhos em CAD do reservatório do Cassapo e das malhas de armadura).....	77
Anexo B (Relatório de ensaio – Resistência à compressão).....	87

Capítulo 2

Fig. 2.1 - Reservatório Shooter's Hill	7
Fig. 2.2 - Reservatório elevado de Louisville	8
Fig. 2.3 – Reservatório elevado de água de Orebro, Suécia.	9
Fig. 2.4. – Reservatório elevado de água de WieżaCiśnień na Wrocław (Polónia)	10
Fig. 2.5 - Reservatório elevado de água de Goldbergturm em Sindelfingen (Alemanha)	10
Fig. 2.6 – Reservatório elevado de água do Kuwait	10
Fig. 2.7 - Reservatório elevado de Doha (Qatar).	10
Fig. 2.8 – Reservatório elevado do Cassapo sendo visíveis as antenas; B - Cobertura do reservatório elevado do Cassapo.	11

Capítulo 4

Fig. 4.1 – Localização das captações de água e identificação consoante o respetivo ano de construção.	32
Figura 4.2 – Esquema hidráulico controlado na central de telegestão do sistema de abastecimento de água de Almada.	34
Fig. 4.3 - Mapa esquemático do sistema de abastecimento de água de Almada.	35
Fig. 4.4 – Fotografias dos reservatórios elevados do concelho de Almada.	39

Capítulo 5

Fig. 5.1. – Vista aérea do reservatório elevado do Cassapo bem como da restante infraestrutura, incluindo reservatórios semi-enterrados e grupo de eletrobombas.	42
Fig 5.2 – Projeto do reservatório e estação elevatória do Cassapo, realizado em Abril 1989 para os Serviços Municipalizados de água e saneamento do Município de Almada.	48
Fig. 5.3 – Distribuição dos valores de recobrimento nas zonas do fuste interior.	50
Fig 5.4 – Fotografia dos ensaios de deteção de armadura e medição de recobrimentos com o Ferrosan (A) e sondagem para medição de recobrimento e diâmetro de varão para aferição do equipamento (B).	50
Fig. 5.5 – Distribuição dos valores de recobrimento da zona das fundações.	52
Fig. 5.6 – Distribuição dos valores de recobrimento da zona interior do arranque da cuba e da cuba.	53

Fig. 5.7 – Distribuição dos valores de recobrimento das zonas exteriores.	55
Fig. 5.8 – Fotografia da auto-escada dos bombeiros de Cacilhas que permitiu o acesso às zonas exteriores elevadas (A) e deteção de armadura com Ferroskan na zona 12 (B).	56
Fig. 5.9 – Fotografia da zona 14 com sintomas graves de degradação incluindo delaminação do betão e exposição de armadura.	57
Fig. 5.10 – Fotografia da malha detetada na zona 13 e zonas adjacentes onde é possível observar zonas com betão delaminado.	58
Fig. 5.11 - Estimativa do teor de cloretos presentes na massa de cimento, assinala-se o valor da percentagem de Cl ⁻ crítico para este tipo de betão, bem como a localização da armadura tendo em conta o recobrimento mínimo de cada zona. A – Zona 1; B – Zona 5; C – Zona 10; D- Zona 7; E – Zona 8; F- Zona 13.	59
Fig. 5.12 – Fotografia das carotes retiradas. A – Carote Z1 (Zona 1 – Fuste interior base nível 1); B – Carote Z7 (Zona 7 – Fundações); C – Carote Z11 (Zona 11 – Fundações); D - Carote Z5 (Zona 5 – Arranque da cuba interior); E - Carote Z6 (Zona 6 – Arranque da cuba); F Carote Z10 – (Zona 10 – Arranque da cuba).	62
Fig. 5.13 – Aspeto exterior do reservatório ao nível do arranque da cuba e da cuba.	65
Fig. 5.14 – Medição da abertura da fenda horizontal ao nível da soleira da cuba.	65
Fig. 5.15 – Observação de escorrências do interior para o exterior com arrastamento de sais, provavelmente sais de cálcio	66
Fig. 5.16 – Vista do fuste do reservatório, assinalam-se as juntas de betonagem.	67
Fig. 5.17 – Fotografia de pormenor do betão onde se observam vários vazios e poros.	67

Capítulo 3

Quadro 3.1. Risco de corrosão no betão não carbonatado. Adaptado de Browne 1980 citado por Costa, 1997	20
Quadro 3.2 - Risco de corrosão no betão em função do estado carbonatado/não carbonatado e da composição do cimento.	20
Quadro 3.3 – Objetivo e modo de aplicação dos vários métodos eletroquímicos de reparação do betão	24

Capítulo 4

Quadro 4.1 – Síntese das infraestruturas que constituem o sistema de abastecimento de água de Almada.	30
Quadro 4.2 - Caracterização das captações do sistema de abastecimento de água a Almada	31
Quadro 4.3 – Alguns dados sobre o sistema de abastecimento de água ao Concelho de Almada	33
Quadro 4.4 – Principais características dos reservatórios elevados do concelho de Almada	36
Quadro 4.5 - Critérios considerados para a classificação do estado de conservação dos reservatórios.	37
Quadro 4.6 - Identificação mapeamento e caracterização de anomalias no exterior dos reservatórios	38
Quadro 4.7 - Identificação mapeamento e caracterização de anomalias no interior dos reservatórios	38
Quadro 4.8 – Estado geral de conservação dos reservatórios elevados do concelho de Almada	40

Capítulo 5

Quadro 5.1 – Zonas estudadas e ensaios realizados durante a avaliação do estado de conservação do reservatório do Cassapo.	47
Quadro 5.2 – Valores de recobrimento e profundidade de carbonatação do betão em 14 zonas do interior e exterior do reservatório do Cassapo.	49
Quadro 5.3 – Resultados dos ensaios esclerométricos em 14 zonas de ensaio. do interior e exterior do reservatório do Cassapo.	60
Quadro 5.4 – Características das carotes ensaiadas à compressão.	63

1

INTRODUÇÃO

1.1 - ENQUADRAMENTO GERAL E NECESSIDADE DO ESTUDO

Os SMAS de Almada são detentores de um vasto património de infraestruturas que permitem assegurar em contínuo, à população de Almada o abastecimento de água e a recolha e tratamento de águas residuais.

As infraestruturas que garantem este serviço público de importância vital à população são uma constante preocupação no que diz respeito à sua gestão patrimonial.

O estado de conservação e a manutenção destas infraestruturas é por isso uma preocupação constante do departamento de projetos e obras que tem como objetivo prolongar a vida útil destas infraestruturas mantendo elevados padrões de qualidade na prestação de um serviço público.

No âmbito do tema de mestrado em engenharia e gestão de água irei avaliar o desempenho dos reservatórios elevados de abastecimento de água à população de Almada, por se tratarem de estruturas de betão armado de grande importância que estão permanentemente sujeitas ao contacto com água clorada no interior das células de armazenamento e fortemente expostas a intempéries e elevados gradientes térmicos pelo exterior. Constituindo os reservatórios uma infraestrutura fundamental de qualquer rede de água potável, torna-se absolutamente necessário, um diagnóstico das suas patologias, tendo em vista a sua manutenção e reabilitação assegurando dessa forma o seu desempenho o qual condiciona fortemente a qualidade final da água para abastecimento à população.

O estudo irá dar enfoque ao estado de conservação dos reservatórios elevados e respetivas células de armazenamento de água uma vez que a degradação dos materiais de revestimento interior das células, a corrosão de elementos metálicos e a degradação de equipamentos pode comprometer fortemente a qualidade final da água.

Este estudo poderá servir de trabalho de base para o desenvolvimento de um estudo mais abrangente e não menos importante para os SMAS no que diz respeito ao desempenho destas infraestruturas em caso de sismo.

A necessidade de proceder a este trabalho resulta principalmente de dois fatores: que são a inexistência de estudos desta natureza que permitam atuar e programar intervenções de manutenção adequadas que impeçam a degradação excessiva destas infraestruturas e consequentemente a

diminuição de custos da reabilitação e, por outro lado, fazer face a exigências legais crescentes nesta matéria e que impõem às entidades gestoras uma gestão patrimonial das suas infraestruturas com vista a minimizar custos de manutenção, perdas de água e consequente otimização de consumos energéticos, resultando idealmente, no futuro, em tarifários mais sustentáveis.

1.2 - OBJECTIVOS

O presente estudo pretende avaliar em detalhe as causas que estão na origem das anomalias existentes em estruturas de betão armado, em especial de reservatórios elevados, condição fundamental para a definição de uma estratégia de intervenção adequada, eficaz e duradoura.

Pretende-se com a realização deste trabalho, delinear uma metodologia que poderá vir a ser aplicada pelos SMAS de Almada nos restantes reservatórios elevados e que permitirá atuar preventivamente nestas infraestruturas vitais ao abastecimento de água à população.

Esta abordagem, poderá, contribuir de forma objetiva para que técnicos e entidades gestoras, envolvidas nestes processos de construção, exploração e manutenção possam refletir e melhorar as suas decisões.

1.3 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este documento está dividido em sete capítulos onde se inclui a introdução e as conclusões. Descreve-se de seguida a estrutura que o caracteriza:

No capítulo inicial faz-se uma breve descrição sobre a necessidade e importância da avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados e respetivas células de armazenamento de água dos SMAS de Almada. Salienta-se a importância que esta temática apresenta nomeadamente ao nível do diagnóstico, prevenção e intervenção atempada na manutenção e conservação destas infraestruturas como abordagem sustentável quer do ponto de vista económico quer social.

O segundo capítulo apresenta o enquadramento histórico dos reservatórios elevados de água para consumo humano e refere a sua importância nos nossos dias.

No capítulo três faz-se uma descrição detalhada das patologias que ocorrem com mais frequência em estruturas de betão armado, descrevem-se os ensaios que permitem identificar, quantificar e caracterizar as anomalias existentes. Ainda neste capítulo, são descritas técnicas de reabilitação aplicáveis a cada uma das patologias identificadas focando os aspetos económicos e regulamentares da sua aplicação.

O capítulo quatro começa por fazer o enquadramento geográfico e demográfico do concelho de Almada, descreve com detalhe o sistema de abastecimento de água ao município desde as captações subterrâneas à adução e distribuição. É em seguida descrita a metodologia utilizada para a realização de um diagnóstico simplificado dos reservatórios elevados e que permitiu identificar e priorizar o reservatório elevado do Cassapo como principal objeto de estudo em virtude do seu estado de degradação.

O capítulo cinco é dedicado ao estudo detalhado do reservatório do Cassapo. Neste capítulo define-se uma estratégia de abordagem e intervenção que permita atingir os objetivos propostos identificando claramente o estado conservação do reservatório elevado do Cassapo. Assim, com recurso à deteção de armadura, realização de ensaios esclerométricos, determinação da percentagem de penetração de cloretos no betão, determinação da profundidade de carbonatação, extração de carotes, medição da abertura de fissuras e inspeção visual, com recurso a um Drone com câmara de filmar acopolada, identificam-se quais as anomalias existentes bem como a sua extensão e gravidade. São apresentados os resultados obtidos e é feita a sua análise e propostas medidas corretivas com vista à correção das anomalias detetadas.

O capítulo seis encerra este estudo e apresenta as conclusões retiradas após a análise efetuada, sendo realçado a forma como a metodologia adotada no capítulo cinco poderá ser replicada para outras infraestruturas de betão armado com as devidas adaptações e sublinha a importância da manutenção preventiva como medida sustentável a considerar no prolongamento da vida útil de infraestruturas e equipamentos.

No capítulo sete indicam-se as referências bibliográficas utilizadas.

2

RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

2.1. - INTRODUÇÃO

Os reservatórios elevados são estruturas que suportam um tanque com água a uma altura suficiente para que a água tenha pressão para alimentar o sistema de distribuição de água para consumo humano, para a rega de espaços verdes e para constituir uma reserva em caso de emergência para os bombeiros. É frequente que os reservatórios elevados operem em conjunto com reservatórios enterrados que se situam na proximidade e permitem que grandes reservas de água se encontrem próximas do local de distribuição. (Kempe, 2006). Existem também reservatórios que armazenam água não potável para a indústria.

Os reservatórios elevados são capazes de fornecer água mesmo em situações de falha de energia pois o seu funcionamento assenta na pressão hidrostática produzida pela elevação da água. No entanto ao fim de algum tempo será necessário energia para o funcionamento das bombas que permitem o seu enchimento.

A pressão do sistema resulta da pressão hidrostática da elevação da água; uma vez que para cada 10,2 centímetros de altura produzem 1kPa de pressão, ou seja, 30 m de elevação produzem cerca de 300 kPa, que é pressão suficiente para operar e fornecer a maioria dos requisitos de pressão de água de sistemas de distribuição.

Uma das primeiras utilizações do betão armado e pré-esforçado foi na construção de reservatórios com o objetivo de armazenar os mais variados materiais, incluindo água.

Em Portugal e no resto do mundo o betão armado e/ou pré-esforçados tem sido amplamente usado. O betão pré-esforçado apresenta muitas vezes vantagens na sua aplicação uma vez que possibilita a execução de secções de betão altamente resistentes face à sua esbelteza e peso próprio. Alguns dos reservatórios além de desempenharem funções muito importantes constituem também extraordinárias obras de engenharia e arquitetura.

2.2. - PROCESSOS CONSTRUTIVOS

O betão armado e/ou pré-esforçado são as soluções construtivas mais frequentes em Portugal, as principais razões desta solução são: menor custo; cultura de construção Portuguesa; bom comportamento ao longo do tempo, o que implica uma maior poupança nos custos de manutenção (Sousa, 2008).

Em termos construtivos os reservatórios têm de satisfazer exigências de segurança estrutural e de funcionalidade. Entre as exigências estruturais incluem-se a resistência dos elementos estruturais, a estabilidade global da estrutura e o controle de assentamentos do terreno de fundação. Entre as exigências funcionais encontram-se a durabilidade e a estanqueidade.

Num reservatório elevado as bombas devem ser dimensionados para as necessidades médias, e não para os picos de consumo; o reservatório pode fornecer a pressão da água durante o dia e as bombas repõem o nível de água durante a noite quando as exigências são menores, e normalmente a fatura energética é menor.

O desenvolvimento crescente de soluções tecnológicas que permitem monitorizar níveis de água no interior dos reservatórios e controlar remotamente todas as bombas e sistemas de operação, normalmente designados por telegestão, permitem centralizar todo o sistema numa central de comando onde são necessários poucos operadores resultando numa poupança significativa para a entidade gestora.

2.3. – CONDICIONANTES

A construção de reservatórios elevados deverá ter em conta diversos fatores que poderão condicionar a construção do próprio reservatório ou exigir soluções de engenharia complexas e dispendiosas (Palma *et al.*, 2000).

As características topográficas, geológicas e geotécnicas, as ações do vento e do sismo, a demografia do território e os fins a que se destina a água a fornecer bem como as necessidades de consumo são condicionantes que devem estar na génese da tomada de decisão para a construção de reservatórios elevados.

A análise custo/benefício deve ainda ponderar o custo da execução de um reservatório elevado os custos de exploração e o seu horizonte de projeto face a outras alternativas técnicas que poderão ser o fornecimento de água por sistemas de abastecimento em pressão. O fator energético é uma crescente preocupação e a sustentabilidade da solução a escolher deve estar na primeira linha das preocupações.

2.4. – OS RESERVATÓRIOS ELEVADOS AO LONGO DA HISTÓRIA

Embora o uso de reservatórios elevados exista desde a antiguidade, sob diversas formas, a sua utilização nos sistemas públicos de distribuição só se desenvolveu em meados do século XIX e em paralelo com o aparecimento das bombas de vapor acompanhado pelo aparecimento de sistemas de

canalização que permitiram maiores pressões. No Reino Unido os primeiros reservatórios elevados assemelhavam-se a fontanários e consistiam em tubos altos expostos invertidos em forma de U usados para pressurizar e providenciar uma elevação fixa para bombas movidas a vapor as quais produzem um fluxo bombado enquanto o sistema de distribuição requeria uma pressão constante. Estes reservatórios também permitiam uma localização fixa para medir os fluxos. Nos finais do século XIX os fontanários passaram a incluir tanques de armazenamento que suprissem as necessidades de abastecimento das cidades em desenvolvimento (Kempe, 2006).

Muitos dos reservatórios elevados são atualmente considerados historicamente importantes e alguns deles estão mesmo incluídos nas listas de património de todo o mundo. Alguns são convertidos em apartamentos ou coberturas exclusivas (Cottrell, 2012).

Uma grande variedade de materiais tem sido usada para construir reservatórios elevados; o betão armado e ou pré-esforçado é amplamente utilizado bem como a alvenaria de pedra ou o tijolo. As estruturas metálicas que servem de apoio a tanques de armazenamento em fibra de vidro ou polímeros diversos são também aplicados, embora com menos frequência. O tanque é habitualmente revestido interiormente com um barramento hidrófobo de base cimentícia com adição de resinas e pintura de impermeabilização com tintas próprias para contacto com água potável. Quanto à forma os reservatórios elevados podem ser esféricos, cilíndricos, paralelepípedos ou elipsóides, com uma altura mínima de cerca de 6 metros e um mínimo de 4 m de diâmetro. Um reservatório elevado típico tem alturas entre os 20 e os 40 m.

Os reservatórios elevados são comuns em algumas cidades, o reservatório Shooter's Hill (Fig. 2.1) é um marco da paisagem de Londres. O reservatório elevado fornece pressão para o sistema de abastecimento de água, sendo auxiliado por uma bomba. O volume do reservatório e o diâmetro da tubagem devem proporcionar e manter caudais e pressões constantes ao longo das 24 horas.



Fig. 2.1 - Reservatório Shooter's Hill (Geograph, 2014).

O reservatório elevado de Louisville (Fig. 2.2) é o mais antigo reservatório elevado ornamentado do mundo (1856), construído com o objetivo de retirar e elevar água a partir do lago Michigan (Kempe,

2006). Tanto a torre de água como a estação de bombagem estão no Cadastro Norte-americano de Locais Históricos.

A decisão da construção do reservatório de Louisville foi tomada pelo governo do estado do Kentucky que formou a Companhia de Água de Louisville, em 6 de março de 1854. A inspiração para a arquitetura do reservatório de Louisville veio do arquiteto francês Claude Nicolas Ledoux, que fundiu "beleza arquitetônica com eficiência industrial".



Fig 2.2 - Reservatório elevado de Louisville - (Wikipédia, 2014)

Esta estrutura começou a operar em 16 de outubro de 1860. A torre, com uma coluna principal de 55,8 m, não era apenas bonita; foi eficaz. Em 24 horas, a estação produzia 45.000 m³ de água. Essa água, por sua vez, corria através 42 quilômetros de condutas. Um tornado em 27 de março de 1890 danificou irremediavelmente este equipamento que deixou de funcionar em 1909 (<http://www.louisvillewatertower.com/> acedido em Setembro 2014).

A partir do século XIX na cidade de Nova Iorque com o aumento da altura dos edifícios passou ser necessário equipar os edifícios com mais de seis andares com reservatórios de água nos telhados (Kempe, 2006). Em certas áreas, alguns dos edifícios dispõem de reservatórios próprios instalados no topo para servirem como reserva de água para combate a incêndios que funcionam graviticamente sem necessidade de energia elétrica. Na Califórnia e em alguns outros estados americanos, reservatórios elevados domésticos foram construídos para o fornecimento de casas individuais; sendo a água bombada para o tanque através de moinhos de vento.

O primeiro reservatório em forma de cogumelo foi construído em Orebro na Suécia (Science in overseas, 1961) (Fig. 2.3) no início da década de 50 do século XX, cópias dessa forma foram sendo construídas em todo o mundo incluindo na Arábia Saudita, Koweit e Portugal (Almada).



Fig. 2.3 – Reservatório elevado de água de Orebro, Suécia. Foi o primeiro reservatório elevado de água a ser construído com a forma de cogumelo (Flickr, 2014)

Os reservatórios elevados de água são muito comuns na Índia, onde o fornecimento de energia elétrica é irregular em várias zonas (Brown, 2014).

Os reservatórios elevados de água são muitas vezes considerados obras de arte da engenharia civil. Alguns são convertidos para servirem outros fins como por exemplo, o Wieża Ciśnień na Wrocław, Polónia (Fig. 2.4), que é hoje um restaurante. Outras foram convertidos para utilização residencial (Cottrell, 2012).

Alguns reservatórios elevados de água são usados como torres de observação, outros como restaurantes, como o Goldbergturm em Sindelfingen, na Alemanha (Fig. 2.5), ou a segunda das três torres de Kuwait, na Cidade-Estado do Kuwait (Fig. 2.6). Também é comum o uso dos reservatórios elevados de água, para a localização dos mecanismos de transmissão na faixa de UHF com pouca força, por exemplo, para o serviço de rádio difusão, rádio amador, ou serviço de telefone móvel. Em regiões montanhosas, a topografia do local pode substituir a elevação dos tanques Estes tanques são muitas vezes nada mais do que cisternas de betão que funcionam de forma idêntica aos reservatórios elevados de água tradicionais.



Fig. 2.4. – Reservatório elevado de água de Wieża Ciśnień na Wrocław (Polónia) (Wieżecisnienmm, 2014).



Fig. - 2.5 Reservatório elevado de água de Goldbergturm em Sindelfingen (Alemanha) (Wikipedia, 2014a)



Fig. 2.6 – Reservatório elevado de água do Kuwait (Britannica, 2014)

Os reservatórios elevados de água podem apresentar variadíssimos acabamentos exteriores, sendo frequente a inclusão de motivos decorativos, paisagísticos, publicitários ou informativos (Fig. 2.7). Alguns reservatórios de água têm o nome da cidade pintado em letras grandes na cobertura como auxiliar de navegação para aviadores.

Nos Estados Unidos da América ocorre com alguma frequência a construção de reservatórios elevados com patrocínios de marcas comerciais que os utilizam para publicitarem um produto, dando muitas vezes aos reservatórios aspetos que se assemelham a garrafas de bebidas, latas de produtos e outras. Estes reservatórios são muitas vezes financiados na sua fase de construção e a sua manutenção fica quase sempre a cargo dessas empresas.



Fig. 2.7 - Reservatório elevado de Doha (Qatar) São visíveis as decorações e as antenas (Engenharia Cível, 2014).

Em Portugal é frequente a instalação de antenas de telecomunicações (Fig 2.8 A e B). Alguns reservatórios elevados, nomeadamente no concelho de Almada (Fig 2.8 B), fazem parte da rede geodésica nacional pois servem de marco geodésico sendo a sua cota de topo um marco altimétrico.



Fig. 2.8 – A – Reservatório elevado do Cassapo sendo visíveis as antenas; B - Cobertura do reservatório elevado do Cassapo onde está implantado um marco geodésico pertencente à rede geodésica nacional. Na cobertura observam-se também as antenas de telecomunicações (Fotografia captada com recurso a Drone equipado com câmara de vídeo GoPro Hero 3+ Blackedition).

3

RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE BETÃO ARMADO. DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS, REABILITAÇÃO E REFORÇO

3.1. - INTRODUÇÃO

Até há alguns anos, a opinião generalizada era de que as estruturas de betão armado durariam para sempre. No entanto, o betão é um material relativamente sensível que se degrada ao longo do tempo. É, portanto, espectável que as construções sofram um natural envelhecimento provocado quer pelo meio ambiente (chuva, sol, vento, poluição) quer pela sua utilização corrente. Assim, a reabilitação é uma necessidade, mesmo em estruturas recentes que por estarem sujeitas a fatores adversos sofrem um envelhecimento acelerado e degradação (Aguilar, 2000).

O diagnóstico com recurso a ensaios não destrutivos ou pouco intrusivos, consiste na realização de um conjunto de testes aos materiais no sentido de tentar identificar a causa das anomalias existentes a sua gravidade e extensão.

A investigação tem permitido ampliar o alcance e a eficácia dos ensaios não destrutivos ou pouco intrusivos na inspeção, observação, monitorização e controlo de qualidade das construções, em particular, nas de betão armado.

As técnicas de inspeção e ensaio podem proporcionar dados importantes aos técnicos responsáveis pelas intervenções de conservação, reparação, reabilitação e ou reforço de estruturas de betão armado, ajudando a:

- Determinar as causas de danos e anomalias existentes nessas estruturas, possibilitando, assim, uma intervenção mais adequada uma vez que se fica a conhecer a causa do problema.

- Avaliar corretamente a importância e a extensão das degradações existentes;
- Adotar medidas corretivas menos intrusivas e mais incisivas e adequadas;
- Definir e planejar com antecipação as intervenções, atuando preventivamente;
- Monitorizar o comportamento dessas intervenções.

A quantidade de ensaios disponíveis para avaliação do estado de conservação das estruturas de betão armado é extensa e muitos dos ensaios disponíveis constituem uma ferramenta preciosa também no controlo de qualidade de reparações e ou reforços resultantes de intervenções que visam reabilitar as estruturas.

Os ensaios devem ser escolhidos em função da informação que se pretende obter sobre a estrutura em estudo, a sua localização e número de ensaios que deverá ser representativo dos mesmos. As limitações de cada ensaio devem ser consideradas a quando da sua escolha.

3.2. - FATORES RELEVANTES NA CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

O betão armado é um material de construção amplamente utilizado em todo o mundo sendo a corrosão de armaduras, uma das principais preocupações no fenómeno de degradação das estruturas pois em estado avançado poderá comprometer a integridade e estabilidade estrutural.

O aço da armadura não é suscetível de sofrer corrosão quando inserido em betão de boa qualidade, devido à elevada alcalinidade deste, com valores de pH próximos de 12,6. Esta alcalinidade é resultante da presença de hidróxido de cálcio que se produz pela hidratação do cimento. O aço em contacto com estes valores de pH forma uma película de óxido que impede a corrosão ficando na chamada forma passiva. Esta passivação é assim um mecanismo de proteção natural das armaduras. A corrosão só ocorre se houver deterioração e/ou contaminação do betão (Lourenço, 2000).

Entre os fatores que podem contribuir para que as condições de passivação se alterem e se inicie a corrosão, incluem-se a carbonatação, a contaminação por cloretos do betão e a penetração de água. A presença de cloretos é uma das principais causas de corrosão das armaduras no betão armado e portanto um dos fatores que mais contribui para a deterioração prematura das estruturas de betão armado. Em Portugal, este problema afeta essencialmente as estruturas expostas a ambiente marítimo (Lourenço, 2007).

A penetração de água através das construções de betão, quer antigas, quer recentes, verifica-se com frequência nas estruturas de contenção de água. Esta penetração ocorre quando as águas sob pressão, ou por ação da capilaridade penetram nos vazios, fendas ou juntas existentes (Brazão Farinha & Pereira Araújo, 2000).

A penetração da água provoca erosão, que vai desgastando as paredes das fendas e vazios aumentando o problema, resultando na corrosão das armaduras, na deterioração dos recobrimentos conduzindo a uma situação de disfunção (Brazão Farinha & Pereira Araújo, 2000).

O diagnóstico das anomalias em construções de betão armado pode ser complexo devido à variedade dos fenómenos de degradação causadores de anomalias. As principais causas das anomalias no betão diferenciam-se bastante no tempo de ocorrência: podem ocorrer antes da construção (erros de projeto), durante esta (erros de execução), no decurso da exploração normal da construção (ações antropogénicas e ambientais), em consequência de catástrofes naturais imprevisíveis (ações acidentais) ou ainda pela vontade humana de uma forma ativa (alteração das condições de serviço).

Neste capítulo, as anomalias encontram-se divididas em três grupos principais: anomalias decorrentes do processo de construção, anomalias estruturais e de durabilidade.

3.3. ANOMALIAS FREQUENTES DAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

3.3.1. - ANOMALIAS DECORRENTES DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Diversas variáveis podem afetar este processo, principalmente porque o betão é preparado, ou pelo menos colocado e moldado, em obra, o que potencia a ocorrência de erros ou defeitos na construção com são exemplo:

- Os vazios e zonas porosas que ocorrem junto às superfícies exteriores ou no interior da massa de betão devido a granulometria mal selecionada dos inertes (deficiência de finos); baixa relação água / cimento; deficiente vibração; cofragem mal escorada ou de rigidez insuficiente.
- A segregação resultante de uma distribuição não uniforme dos constituintes do betão. Em consequência, encontram-se finos em excesso à superfície e elevadas razões água/cimento, cujas principais causas são a preparação incorreta do betão; o excesso de vibração e a betonagem de alturas excessivas. A segregação também pode ocorrer quando o espaçamento das armaduras é muito pequeno e não permite a passagem dos agregados por entre os espaços formados pela armadura durante a betonagem.
- Erros de geometria: Muitas vezes resultantes da falta de um projeto de execução, o empreiteiro executa a obra seguindo um projeto de licenciamento, pouco detalhado e parco em desenhos de pormenor, levam a que a geometria e dimensionamento exato das peças apresente falhas. Disto podem resultar, por exemplo, pilares e paredes com inclinações ou excentricidades entre elementos da estrutura. Um dos principais fatores se não mesmo o principal no aparecimento de anomalias é o deficiente controlo da qualidade na execução, um exemplo recorrente e grave, por comprometer seriamente a durabilidade das estruturas, é o posicionamento incorreto da armadura dentro da cofragem. A utilização de espaçadores é muitas vezes ignorada resultando em faces sem o recobrimento mínimo desejado quando outras dentro do mesmo molde acabam por ter excesso de recobrimento.
- Descontinuidades visíveis no betão são muito frequentes em juntas de betonagem, onde o betão não tem uma ligação forte e uniforme. Acontecem quando o novo betão é depositado sobre um betão

já em fase de presa. O novo betão não adere completamente ao betão inicial ficando entre eles uma separação visível. As principais causas são o deficiente controlo da qualidade na execução.

- As manchas no betão localizadas à superfície deste são muitas vezes decorrentes do processo de construção, podem ser: manchas de humidade do betão (ocorrem por perda de humidade através da cofragem), colorações à superfície do betão que resultam, por exemplo, da presença de óxidos metálicos que se encontram próximo da superfície e que ao oxidarem e hidratarem, originam coloração avermelhada. Quando se utiliza o cloreto de cálcio como acelerador da presa, podem ocorrer nódulos à superfície que provocam manchas. As principais causas das manchas do betão são a ação dos materiais incorporados no fabrico do betão; o ataque de ácidos, sulfatos e álcalis; a deficiente colocação/preparação da cofragem; a deficiente colocação de armaduras e a ação de óleos de descofragem. As eflorescências são depósitos de sais cristalizados que aparecem à superfície do betão endurecido e têm origem na circulação de água através deste material. As principais causas são os sais solúveis e a matéria orgânica existente nos agregados ou água de amassadura.
- Fissuração significativa pode ocorrer durante o processo de construção, as principais causas são a colocação incorreta das armaduras e cabos de pré-esforço; a deficiente cura do betão; o assentamento plástico do betão ou a remoção prematura das cofragens.

3.3.2. - ANOMALIAS ESTRUTURAIS

As anomalias estruturais traduzem-se normalmente pelo aparecimento de fendas significativas ou deformações severas muitas vezes devidas a assentamentos diferenciais, a fissuração significativa surge após processos de deformação imposta nos quais o movimento da peça está restringido. No entanto, algumas anomalias estruturais não são aparentes e manifestam-se apenas quando sujeitas a ações pontuais extremas (por exemplo por ação sísmica).

A manifestação de anomalias na estrutura poderá ficar a dever-se em alguns casos a erro de dimensionamento e a insuficiência de armadura face às ações a que a estrutura está sujeita.

3.3.3. - ANOMALIAS DE DURABILIDADE

As anomalias de durabilidade estão relacionadas com a degradação das construções ao longo do tempo nomeadamente:

- Agregados com dimensões desadequadas para a densidade de armadura.
- Exposição/corrosão das armaduras;
- Fissuração do betão;
- Desagregação do betão;
- Descasque do betão.
- Coloração superficial do betão.

Dos fatores referidos, o que pode causar maiores problemas na estrutura é a corrosão das armaduras, a qual geralmente acontece devido ao ataque de cloretos e/ou à carbonatação.

O ataque de cloretos ocorre principalmente em ambientes marítimos; onde a presença de sal seja expressiva por exemplo pela aplicação de areias mal lavadas, de origem salina, na composição do betão ou mesmo adição de água do mar para o fabrico do betão. Este fenómeno ocorre com alguma frequência em zonas onde a escassez de água doce é uma realidade e as limitações geográficas são elevadas como são exemplo as ilhas, a título de exemplo as ilhas de Cabo Verde que reúnem os dois fatores (limitações geográficas e escassez de água doce).

Para que o processo de corrosão das armaduras por ação de cloretos seja possível, é necessário a presença de humidade e oxigénio. A penetração de cloretos processa-se da superfície para o interior.

3.4. – DIAGNÓSTICO

Durante a inspeção, através da observação visual das anomalias, deverão ser caracterizados os mecanismos físicos e químicos que estão na sua origem e estabelecidas relações causa-efeito. Para além do conhecimento aprofundado dos materiais, do seu comportamento e das técnicas de construção, devem ser seguidas metodologias rigorosas de observação, registo, análise dos defeitos, com a eventual realização de ensaios, preferencialmente, não destrutivos ou pouco intrusivos.

As técnicas de ensaios podem dividir-se em 2 tipos:

Ensaaios estruturais - têm como objetivo determinar as características físicas e mecânicas dos materiais constituintes e analisar o seu comportamento na estrutura.

Ensaaios de durabilidade - determinam essencialmente características químicas dos materiais que constituem a estrutura e o seu comportamento ao longo do tempo que possam vir a provocar anomalias a longo prazo.

Para cada tipo, existem ensaios *in situ* e ensaios de laboratório que se podem aplicar, é de referir a importância da realização destes dois tipos de ensaios em paralelo pois muitas vezes os resultados obtidos são diferentes, podendo a conjugação de ensaios ser complementar, a título de exemplo pode indicar-se o ensaio à compressão de carotes/ensaio esclerométrico.

3.4.1. ENSAIOS EM LABORATÓRIO

3.4.1.1. – Ensaaios estruturais

A panóplia de ensaios laboratoriais é extensa e permite obter muita informação, no entanto, os ensaios que se realizam com mais frequência são:

Ensaio de compressão: Permite determinar a tensão de rutura por compressão do betão em estudo, o seu módulo de elasticidade e, eventualmente, a respetiva curva de tensão – deformação, utilizando-se para o efeito amostras (cilíndricas). No caso de betão jovem os ensaios de caracterização são realizados ao fim de 28 dias após a betonagem. Após a entrada em funcionamento da estrutura

podem ser retiradas carotes cilíndricos por forma a caracterizar o betão existente. É necessário ensaiar mais do que uma amostra para que o resultado seja fiável e representativo dos elementos betonados. Na realização das carotes é fundamental ter em consideração a sua localização por forma a não afetar a capacidade estrutural do elemento em estudo.

Ensaio de fluência: permite determinar a deformação do material em condições de carga constante, durante um período de tempo e sob temperatura controlada. Afluência é medida em amostras prismáticas testadas num ambiente de temperatura e humidade controladas, estas amostras são sujeitas a cargas de compressão constantes durante vários meses. O efeito de fluência a determinada idade é definido através da relação entre a deformação total nesse instante e a deformação elástica inicial menos 1 (coeficiente de fluência).

3.4.1.2. – Ensaio de durabilidade

Absorção de água: A absorção de água do betão está relacionada com a penetração da água no betão através da superfície e pode ser obtida segundo dois ensaios diferentes: ensaio de absorção por capilaridade ou ensaio de imersão.

Permeabilidade à água: As características de permeabilidade à água são obtidas considerando uma amostra sujeita a pressão de água numa face e medindo o volume de água que atravessa a amostra.

Difusão de cloretos: Podem dividir-se em ensaios de difusão e ensaios de migração. Embora sejam mais rápidos do que os ensaios de difusão, os ensaios de migração são mais eficientes para verificar a qualidade do betão do que para quantificar o coeficiente de difusão. Nestes ensaios, uma amostra de betão é colocada entre duas câmaras, uma saturada com cloretos e a outra sem cloretos, passado algum tempo, é medida a concentração de cloretos nas duas câmaras, e assim determinado o coeficiente de difusão. Nos ensaios de migração, o processo de difusão dos cloretos é acelerado aplicando um potencial elétrico entre as duas câmaras da célula difusora.

Carbonatação acelerada: Este é o ensaio mais utilizado para estimar a resistência do betão à carbonatação demora cerca de duas semanas para avaliar um fenómeno que naturalmente dura anos. As amostras são colocadas numa câmara controlada com humidade relativa de cerca de 60%, temperatura de cerca de 23 °C e percentagem de CO₂ de cerca de 5%. A profundidade de carbonatação é depois medida periodicamente.

3.4.2. - ENSAIOS *IN-SITU*

3.4.2.1. – Ensaio estruturais

Os ensaios realizados com mais frequência *in situ* incluem:

Ensaio esclerométrico: Determina a dureza superficial do betão. Esta técnica não destrutiva baseia-se na relação entre a dureza da superfície do betão e a sua tensão de rotura por compressão. Devido à falta de precisão da técnica, os melhores resultados são obtidos testando a mesma área com o

esclerómetro e com o ensaio sobre as carotes. Depois de conhecida a diferença de resultados, é possível então utilizar apenas este aparelho para verificar variações no betão noutros pontos da estrutura para ter uma noção da disparidade ou não entre zonas de estudo.

Ensaio de pull-off: Vulgarmente chamado de ensaio de arrancamento, é utilizado para obter a resistência à tração do betão *in-situ* por arrancamento ou para verificar a aderência de betão novo (ou outro material) colocado sobre betão antigo. Consiste em fazer uma carote que não é retirada, no seu topo cola-se uma pastilha (base metálica) que servirá de elemento de tração (arrancamento) até à rotura do provete. No momento da rotura o equipamento regista a tensão de rotura.

Ensaio de ultrassons Permite verificar o estado da estrutura, analisando a homogeneidade do material (uniformidade do betão) e a existência de fendas ou vazios (anomalias internas). O ensaio consiste basicamente em medir o tempo de propagação do som desde um transmissor até a um recetor. A velocidade do som é superior em meios contínuos logo é possível estabelecer uma correlação entre betões bem compactados e mal compactados. A título de exemplo, neste ensaio uma velocidade de propagação sonora de 5000 m/seg permite-nos avaliar o betão de boa qualidade com uma boa compactação. O ensaio permite determinar a tensão de compressão do betão, através de correlações empíricas.

Ensaio de carga: Destinam-se a verificar se a estrutura se encontra em condições de suportar, com a segurança necessária, as ações previstas de acordo com a utilização que se pretende dar à estrutura. Estes ensaios consistem em analisar o comportamento da estrutura a uma solicitação envolvendo normalmente uma logística complexa, dependendo das cargas necessárias para mobilizar a estrutura. Nos ensaios de carga em pontes normalmente são utilizados camiões cisterna cujo peso é conhecido previamente, em edifícios são muitas vezes utilizados bidões com água ou sacos de cimento cujo peso se conhece e que permite incrementar patamares de cargas por fases conforme o regime de comportamento da estrutura durante o ensaio, estas cargas são criteriosamente posicionadas e as leituras das deformações são obtidas pela leitura dos defletómetros colocados na face inferior ao elemento carregado.

Deteção das armaduras: O pacómetro (detetor eletromagnético de armaduras) e o georadar permitem localizar a armadura no interior do betão armado, determinar a espessura do recobrimento e o diâmetro dos varões de aço.

3.4.2.2. - Ensaio de durabilidade

Medição da profundidade de carbonatação: Com a carbonatação do betão, o meio básico passa a ácido a profundidade da frente de carbonatação *in situ* obtém-se fazendo um furo na superfície do betão junto a uma armadura e de imediato deve limpar-se o furo para que não exista contaminação e deve borrifar-se a zona de ensaio com um pulverizador contendo fenolftaleína que é um indicador de pH que adquire cor carmim em meio alcalino, sendo incolor na zona carbonatada.

Determinação do teor de cloretos: A determinação da penetração de cloretos *in situ* obtém-se perfurando a superfície de betão do exterior para o interior em patamares distintos procedendo

sempre à recolha do pó de betão para saquetas devidamente identificadas, deve proceder-se a uma correta limpeza do furo entre profundidades de recolha. A última profundidade de pó recolhida deverá ser sempre superior ao maior recobrimento detetado. Costa (1997) citando Browne (1980) relaciona a percentagem de cloretos no betão com o risco de corrosão de armaduras (Quadro 3.1.). Existe também uma relação entre a percentagem de cloretos no betão e o risco de corrosão em função do estado carbonatado/não carbonatado e também da percentagem de aluminato de cálcio (C3A) do cimento utilizado (Quadro 3.2)

Quadro 3.1. Risco de corrosão no betão não carbonatado (Adaptado de Browne 1980 citado por Costa, 1997).

Teor de cloretos (%Cl ⁻ /massa cimento)	Risco de corrosão
<0,4	Desprezável
0,4-1,0	Possível
1,0-2,0	Provável
>2,0	Certa

Quadro 3.2 - Risco de corrosão no betão em função do estado carbonatado/não carbonatado e da composição do cimento (Adaptado de Puller-Strecker, 1987 citado por Costa, 1997).

Teor de cloretos (%Cl ⁻ /massa cimento)	Condições do betão adjacente à armadura	Risco de corrosão
<0,4	1 - Carbonatado	Elevado
	2 – Não carbonatado, fabricado cimento com C3A <8%	Moderado
	3 – Não carbonatado fabricado cimento com C3A > 8%	Baixo
0,4-1,0	1 - Carbonatado	Elevado
	2 – Não carbonatado, fabricado cimento com C3A <8%	Elevado
	3 – Não carbonatado fabricado cimento com C3A > 8%	Moderado
<1,0	Todos os casos	Elevado

Potencial de corrosão: Este ensaio é realizado para nos dar indicação se existe risco de corrosão das armaduras, esta técnica consiste em fazer passar corrente elétrica na malha de armadura e acoplado ao mesmo equipamento está um elétrodo que deteta a passagem de corrente, registar a chegada da mesma a vários pontos da malha de armadura em estudo, a condutividade da malha é tanto maior quanto menos corrosão existir na malha.

3.5. – TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E REFORÇO

Existem várias técnicas de proteção, reparação e reforço de estruturas de betão armado, cada uma delas com a sua especificidade e aplicabilidade. A escolha da técnica deve basear-se em critérios bem definidos de forma a alcançar o objetivo pretendido uma vez que cada técnica se adequará melhor a cada tipo de estrutura.

A este propósito o Comité Técnico CEN/TC 104 produziu a norma EN1504 “Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão” a qual define os princípios de proteção e reparação de estruturas de betão armado danificadas (Saraiva, 2007).

As várias técnicas descritas na norma EN1504 agrupam-se de acordo com o objeto da intervenção. Desta forma, existem técnicas de proteção superficial do betão, técnicas de prevenção da corrosão e técnicas de reparação de betão deteriorado. De seguida, descrevem-se de uma forma sucinta as principais técnicas de proteção e reparação de estruturas preconizadas pormenorizadamente na norma EN1504.

3.5.1 TÉCNICAS DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL

3.5.1.1 - Impregnação

A técnica de impregnação consiste na penetração superficial no betão de determinados produtos que tornam o betão menos poroso (impregnação simples) ou repelente à água (impregnação hidrofóbica), obtendo-se desta forma um betão mais resistente a agentes agressivos.

No caso da impregnação simples, os produtos usados são as resinas sintéticas, tais como as tintas acrílicas ou as epoxidicas de baixa viscosidade. No caso de impregnação hidrofóbica, utilizam-se silanos ou siloxanos.

3.5.1.2 - Revestimento superficial

Os revestimentos superficiais consistem na aplicação de um revestimento por pintura ou com ligantes minerais e mistos sobre toda a superfície de betão, com o objetivo de reduzir a porosidade e permeabilidade do betão.

i) - Membranas

As membranas consistem num tipo de revestimento superficial flexível de base polimérica, betuminosa ou de cimento o qual garante a total impermeabilidade do betão à água. O recurso a este tipo de proteção superficial justifica-se em casos especiais, nomeadamente em ambientes quimicamente agressivos ou em casos de grande pressão hidrostática.

ii) -Nova camada de recobrimento

Utiliza-se uma nova camada de recobrimento de forma a proteger o betão, podendo esta variar entre os 5 e 60mm de espessura. Para esta gama de espessuras, a camada de recobrimento realiza-se

com uma argamassa à base de cimento com polímeros ou cimento “Portland” (exceto quando a deterioração advém de ataque químico ou quando existam fendas ativas na estrutura), a qual pode ser armada com malha de aço ou fibras. Para espessuras superiores a 60mm utiliza-se microbetão (argamassa com agregados de pequena dimensão), ao qual se pode adicionar sílica de fumo, de forma a melhorar as propriedades deste betão.

iii) - Proteção física exterior

Esta técnica consiste basicamente na colocação de elementos construtivos protetores sobre toda a superfície do betão, tais como painéis de betão pré-fabricados, placas de aço, painéis de madeira, etc.

3.5.2 TÉCNICAS DE PREVENÇÃO DE CORROSÃO

As técnicas de proteção do aço contra a corrosão procuram impedir o desencadeamento da reação de dissolução do aço, entretanto despassivado pela ação de agentes agressores (cloretos, carbono), evitando assim a transformação do aço em ânodo e, conseqüentemente, a formação de um campo elétrico que conduz à formação de hidróxido de ferro na zona do ânodo.

Utilizam-se sobretudo duas técnicas. A primeira consiste em revestir os varões de aço com pinturas que contêm pigmentos ativos ou com revestimentos que funcionam como barreiras. Os pigmentos das pinturas utilizados (normalmente zinco) têm um potencial elétrico inferior ao do aço, funcionando desta forma como ânodos e o varão como cátodo (atrai os eletrões do pigmento entretanto dissolvido) (Costa, 2000). No caso dos revestimentos, isola-se o aço da água existente no betão circundante. É evidente que esta técnica só é efetiva se o revestimento for contínuo e abrangente da superfície do varão.

A segunda técnica consiste em revestir as superfícies de betão com pinturas inibidoras de corrosão. Um inibidor de corrosão é uma substância química, comercializada na forma de pó, líquido ou gel, que quando é aplicada durante o fabrico do betão, retarda o início da corrosão e, quando é aplicada superficialmente em estruturas já construídas, reduz a velocidade da corrosão. Este efeito consegue-se geralmente através da formação de uma camada muito fina de compostos químicos (que variam consoante o tipo de inibidores e o seu fabricante), e que permitem controlar e retardar a corrosão uma vez que afeta a reação anódica de dissolução do ferro.

Os inibidores de corrosão aplicados à superfície do betão nem sempre são eficazes uma vez que, algumas vezes, o seu baixo coeficiente de difusão através do betão faz com que o produto não atinja as armaduras que necessitam de proteção (Silva, 2007).

Quando os inibidores de corrosão são incluídos no seio do betão durante o seu fabrico e quando o betão é de boa qualidade, consegue-se um retardamento eficaz da corrosão. Contudo, o seu efeito positivo a longo prazo ainda está pouco estudado.

3.5.3 TÉCNICAS DE REPARAÇÃO DE BETÃO DETERIORADO

3.5.3.1 - Tratamento de fendas

O tratamento de fendas inclui o seu preenchimento com produtos adequados ao tipo de fenda em presença (ativa ou passiva), selagem superficial e/ ou reforço de fendas (Costa, 2000).

Os materiais de preenchimento de fendas mais correntemente utilizados são os de origem mineral ou inorgânicos, como as caldas de cimento ou cal, e os poliméricos ou orgânicos, tais como as resinas deepoxidicas ou de poliuretano. As caldas utilizam-se normalmente na colmatação de fendas passivas com aberturas superiores a 0.3 mm, dado que são pouco flexíveis e pouco fluidas. Por sua vez, as resinas utilizam-se para colmatar fendas muito finas, na medida em que se tratam de materiais muito fluidos (Costa, 2000).

A selagem de fendas aplica-se nos casos de pequenas fendas passivas, cuja reparação basta ser superficial, ou em casos de fendas ativas com amplitudes de abertura assinaláveis. Utilizam-se normalmente materiais como mástiques ou produtos de silicone ou poliuretano.

3.5.3.2 - Argamassas e microbetão

Diversos métodos têm sido utilizados para proteger as estruturas de betão armado da corrosão, entre os quais se destacam a utilização de pinturas inibidoras de corrosão, a proteção catódica, a dessalinização, a realcalinização e a substituição parcial ou total do betão de recobrimento por outro de melhor qualidade.

Quando uma peça de betão armado se encontra muito deteriorada à superfície, a melhor solução de reparação consiste na remoção da camada afetada (saneamento do betão deteriorado), limpeza das armaduras e sua proteção, colocação de uma nova camada de revestimento realizada com uma argamassa de cimento (no caso de pequenas espessuras) ou com microbetão (nos caso de espessuras superiores a 6 cm).

Deve-se procurar garantir que os novos materiais aplicados apresentem características mecânicas semelhantes aos existentes, evitando desta forma uma redistribuição de esforços pelos elementos mais rígidos e consequente concentração de tensões nestes.

3.5.3.3 - Reparação eletroquímica

Uma reparação eletroquímica é definida pela imposição de uma corrente elétrica, entre um elemento externo à estrutura e as armaduras de betão armado, que leva à interrupção da corrosão destes elementos por repassivação das armaduras, ou por remoção dos iões agressivos (cloretos) ou ainda por reinstalar a alcalinidade da solução existente nos poros do betão.

As técnicas de reparação eletroquímica usadas para reduzir a corrosão das armaduras em estruturas de betão armado são:

- Realcalinização

- Dessalinização
- Proteção catódica

Todos os métodos eletroquímicos têm princípios e detalhes em comum sendo que a principal diferença entre eles reside na intensidade da corrente imposta e na duração do tratamento conforme se apresenta no quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Objetivo e modo de aplicação dos vários métodos eletroquímicos de reparação do betão

	Realcalinização	Dessalinização	Proteção catódica
Objetivo	Aumento do pH do betão /repassivação	Remoção de cloretos no betão /repassivação	Polarização da armadura num potencial de proteção
Duração da polarização	1 - 2 Semanas	6 - 10 Semanas	Permanente
Densidade de corrente *	0.8 - 2 A/m ²	0,8 - 2 A/m ²	3 - 20 A/m ²

i) Realcalinização

Este tipo de tratamento é especialmente indicado para estruturas em que a corrosão é originada por carbonatação já que provoca um aumento do pH da água existente nos poros do betão e restaura a película passiva, outrora destruída pela carbonatação.

O princípio geral de funcionamento é idêntico ao dos restantes tratamentos eletroquímicos, envolvendo a passagem de uma corrente elétrica entre o ânodo (malha aplicada exteriormente e envolvida por uma solução eletrolítica que, no caso da realcalinização, costuma ser uma pasta de celulose com 1 mole por litro de carbonato de sódio e um cátodo (armaduras do betão).

Deve ser dada atenção ao facto de, por se utilizar uma solução com iões de sódio como eletrólito, que podem potenciar a ocorrência de reações álcalis-sílica (RAS). Durante o tratamento, o eletrólito é transportado para o betão carbonatado por eletro-osmose e migração de iões, produzindo um meio altamente alcalino.

O primeiro efeito da realcalinização é a criação de produtos de reação alcalinos junto às armaduras, devido à eletrólise, e junto à superfície do betão, devido à absorção, electro-osmose e difusão do eletrólito. No final do processo, todas as zonas entre as armaduras e a superfície do betão terão um pH altamente alcalino.

A realcalinização é um tratamento temporário e tem uma duração de 1 a 2 semanas, aplicando-se uma intensidade de corrente entre 0,8 e 2,0 A/m². No final, o ânodo é removido e a superfície da estrutura fica no seu estado original, sendo, por isso, um tipo de tratamento indicado para estruturas de elevado valor arquitetónico que não podem ser danificadas.

ii) Dessalinização

A dessalinização é um método de reparação eletroquímico que possibilita remover íões cloreto da camada de betão superficial. O processo envolve a passagem de uma corrente elétrica imposta entre as armaduras (cátodo) e um ânodo aplicado provisoriamente, à superfície de betão durante o período de tratamento. As reações que ocorrem no ânodo originam a formação de íões hidróxido que repõem a alcalinidade do betão na zona das armaduras, sendo desta forma restaurada a passivação das armaduras.

Este método é particularmente eficaz no caso de estruturas contaminadas com cloretos por via externa e em que estes se aproximam das armaduras sem que os danos devidos à corrosão sejam muito severos. Posteriormente ao tratamento, deverá ser aplicado um revestimento que restrinja a entrada de cloretos e a absorção de água de modo a permitir prolongar a ação do tratamento.

Dependendo do teor e do tipo de distribuição dos cloretos no betão, da qualidade do betão, da distribuição das armaduras e da corrente aplicada, o método pode necessitar de atuar durante algumas semanas a vários meses até que se atinja um teor de cloretos juntos das armaduras inferior ao crítico.

iii) - Proteção catódica

A proteção catódica baseia-se na inversão do potencial das armaduras do betão para um estado mais eletronegativo, de modo a que estas passem a funcionar como cátodo e a corrosão se reduza a valores reduzidos. Este efeito é conseguido através da passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade, de um ânodo exterior, para as armaduras (cátodo), através do betão (eletrólito).

Esta técnica tem dado bons resultados, por exemplo, na reparação de estruturas de betão armado fortemente contaminadas com cloretos, conseguindo remover totalmente os agentes agressivos permitindo controlar a corrosão de uma forma eficaz durante o período de vida da estrutura.

Para além da remoção dos cloretos, a proteção catódica origina ainda a produção de íões hidróxido que levam a um aumento da alcalinidade da solução e, conseqüentemente, à restauração da película passiva.

3.5.4 REPARAÇÃO DO BETÃO

3.5.4.1 - Substituição do betão contaminado

A substituição parcial ou total do betão contaminado é, nos dias de hoje, uma das técnicas mais utilizadas para reparar estruturas de betão armado deterioradas, embora nem sempre seja a técnica mais adequada do ponto de vista técnico ou económico.

O objetivo deste tipo de tratamento é a substituição do betão superficial contaminado, por betão novo de melhor qualidade ou uma argamassa de reparação, diminuindo-se, assim, a velocidade de

desenvolvimento da deterioração devido à maior proteção contra o ingresso de agentes agressivos que estes novos elementos conferem.

A reparação por substituição parcial de betão é uma solução bastante competitiva no que respeita a custos iniciais mas, uma vez que o agente agressor não é completamente removido do betão, acaba por ser uma solução pouco durável e que requer novas intervenções de reparação num curto/médio prazo. Para além disso, do ponto de vista técnico, esta solução poderá mesmo agravar o problema nas zonas adjacentes à reparação uma vez que poderá potenciar a corrosão das armaduras nessas zonas (a área tratada funciona como um cátodo e as zonas adjacentes que, apesar de poderem não apresentar sinais exteriores de deterioração, podem estar contaminadas por cloretos com teores próximos do crítico, funcionando como ânodo, promovendo-se a dissolução do ferro.

A reparação por substituição total do betão é, do ponto de vista técnico, uma solução muito eficaz em grande parte das situações mas, no que respeita à economia, poderá ser uma solução inviável em vários casos uma vez que envolve grandes custos iniciais.

3.6 – Reforço de estruturas de betão armado

A necessidade de reforçar uma estrutura, está, em geral, associada à correcção de anomalias decorrentes de deficiências de projecto, construção ou utilização, por outro lado, a necessidade de alterar a utilização prevista inicialmente pode condicionar e ou obrigar a uma intervenção a este nível. São ainda de referir situações em que se pretende reforçar uma estrutura para aumentar os seus níveis de segurança (Gomes & Appleton, 1997).

O reforço estrutural pode ser efetuado recorrendo a diversas técnicas e materiais, assim, a aplicação de betão armado, betão projetado, perfis metálicos, pré-esforço, chapas de aço coladas ao betão com resina epoxídica podendo esta ligação ser melhorada com a aplicação de buchas metálicas bem como a utilização de materiais compósitos, tendo por base as fibras de carbono, de vidro ou aramídicas são um auxiliar precioso na melhoria do desempenho estrutural (Chastre 2005, 2014).

Numa abordagem inicial, é fundamental perceber porque surgiu a necessidade de reforçar a estrutura uma vez que o dimensionamento do reforço depende das novas exigências. A escolha da solução a aplicar deverá ser alvo de uma avaliação técnico/ económica com vista a obter uma solução com um rácio custo/ benefício baixo.

Para a escolha da solução de reforço, é importante considerar a geometria dos elementos a reforçar, o estado geral das superfícies a tratar, o local onde se insere a estrutura, as condições climáticas a que irá estar sujeita e não menos importante o aspeto estético e paisagístico uma vez que o impacto visual resultante de uma intervenção destas poderá ser elevado.

Com a evolução constante e desenvolvimento da engenharia de materiais, existem hoje, materiais e técnicas de reforço de estruturas de betão armado cada vez mais sofisticadas, mais resistentes e eficientes, mais leves, menos intrusivas e em muitos casos economicamente vantajosas quando comparadas com os métodos tradicionais de reforço.

A aplicação de reforço em estruturas de betão armado tem vindo a sofrer fortes alterações quer no seu desempenho quer no seu custo. A aplicação do reforço com recurso a materiais mais leves e resistentes, apresenta rendimentos de aplicação significativamente superiores aos rendimentos tradicionais de aplicação de chapas de aço com fixação mecânica com buchas.

Podemos dizer que o paradigma está a mudar, existem cada vez mais empresas a investir na formação de técnicos especializados na aplicação de reforço com recurso a novos materiais e tecnologia e a forte expansão dos materiais compósitos têm invertido a tendência dos últimos anos no que respeita a custos. Pela evolução natural registada nos últimos anos, é espectável que a curto prazo se registre um abrandamento significativo na aplicação das técnicas de reforço tradicionais.

No caso dos reservatórios elevados, uma possível intervenção para aplicação de reforço com vista a melhorar o seu comportamento e desempenho face a ações sísmicas, poderia ser com recurso ao reforço com compósitos reforçados com fibras (FRP). Esta técnica consiste no reforço por adição de armadura exterior à estrutura existente. A aplicação de mantas de carbono coladas à superfície com resina epoxídica poderá revelar-se uma boa solução tendo em vista a configuração frequente de estruturas deste género que apresentam fustes e cubas de armazenamento de água com formatos cilíndricos e ou cónicos, de referir que o aspeto final da estrutura reforçada com recurso a esta técnica não provoca alterações significativas na arquitetura do elemento reforçado e consequentemente o impacto visual negativo é pequeno ou mesmo inexistente. Esta ou outra técnica de reforço deverá ser inevitavelmente analisada e avaliada em função das necessidades a satisfazer, do custo e do desempenho final (Chastre, 2005).

3.7. - ASPETOS ECONÓMICOS

A escolha entre um ou outro método de reparação dependerá assim do montante inicial que o dono de obra pretende investir e da durabilidade pretendida já que, apesar de uma substituição total do betão superficial representar grandes custos iniciais, poderá tornar-se economicamente vantajosa, a longo prazo, uma vez que é uma solução mais eficaz e com maior durabilidade, envolvendo menores custos de exploração. Este tipo de escolha terá então de se basear numa análise de custos de cada reparação ao longo do período de vida pretendido para a estrutura.

Existe um certo paralelismo entre a evolução da degradação de uma estrutura e o envelhecimento de um ser humano. A maior parte das pessoas está ciente de que, ao se detetar uma doença grave no seu estado inicial, a probabilidade de haver uma cura ou um tratamento eficaz é muito maior do que se esta for detetada já num estado avançado, sendo, por isso, frequente o recurso a consultas médicas de rotina. Esta preocupação faz com que o número de casos tratáveis seja bastante maior e que a qualidade de vida da pessoa no futuro aumente. No que respeita à estratégia de manutenção de uma estrutura passa-se o mesmo, podendo assim distinguir-se duas abordagens: reativa e preventiva.

Numa abordagem reativa, o dono de obra opta por reparar a estrutura apenas quando já existem sinais claros de deterioração e a funcionalidade e a segurança da estrutura estão em risco. A

reparação a efetuar nestes casos tem geralmente o intuito de diminuir a velocidade de degradação e estender o tempo de vida da estrutura, a abordagem reativa é normalmente mais intrusiva e dispendiosa.

Numa estratégia preventiva, o dono de obra decide investir mais na inspeção e manutenção da estrutura de modo a que o período de iniciação da degradação se prolongue por mais tempo. Neste caso, as inspeções periódicas a realizar terão de ser mais profundas e pormenorizadas do que na abordagem reativa, não podendo consistir numa simples observação visual da estrutura já que a única informação obtida com este tipo de análise é se a degradação da estrutura já teve início. Assim, ao invés do que acontece com a abordagem reativa, as inspeções periódicas poderão envolver a medição do potencial elétrico das armaduras, da profundidade de carbonatação e da penetração dos cloretos, ou a medição da velocidade de corrosão, entre outros.

Esta solução envolve maiores custos periódicos mas poderá ser mais eficaz do ponto de vista económico se, se fizer uma análise de custos ao longo do período de vida útil da estrutura uma vez que, pelo facto de se intervir com antecipação, as reparações a efetuar não serão, geralmente, tão dispendiosas como as realizadas numa abordagem reativa e não envolverão um tempo de paragem tão elevado. Este aspeto poderá igualmente constituir um grande ponto a favor deste tipo de estratégia de manutenção de estruturas já que a interrupção de uma atividade devido a obras ou a perda de produtividade resultante de uma ação de reparação pode envolver grandes custos para o dono de obra e no caso dos reservatórios elevados sem sistemas redundantes, a população sofre também essa consequência.

A escolha entre uma ou outra abordagem poderá ser feita com base em vários fatores mas a economia é sem dúvida aquele que geralmente mais peso tem para a decisão de um dono de obra.

3.8 – REGULAMENTAÇÃO

Não existe legislação aplicável sobre que materiais usar na reabilitação de estruturas destinadas a armazenar água para consumo humano, no entanto, a EPAL criou uma lista de materiais de construção aprovados para utilização em contacto com a água para consumo que é normalmente seguida pelas restantes entidades. No caso da EPAL (EPAL, 2014) é possível que um fabricante de materiais apresente um certificado baseado em ensaios realizados em laboratório, independente do fabricante, (emitido por entidade certificada) onde sejam testadas, pelo menos os seguintes parâmetros:

- Influência de materiais na água devido à migração de substâncias inorgânicas e/ou orgânicas;
- Avaliação organoléptica da água após contacto com o material;
- Avaliação da cor e turvação da água em contacto com o material;
- Desenvolvimento microbiológico;

4

DIAGNÓSTICO SIMPLIFICADO DOS RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE ÁGUA POTÁVEL NO CONCELHO DE ALMADA

4.1. - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ALMADA

4.1.1. – Introdução

O abastecimento de água a Almada é um serviço público, assegurado pelos SMAS – Almada (Serviços Municipais de Água e Saneamento) desde 1950. A criação deste serviço, inicialmente prestado apenas nos principais centros urbanos, foi imperativo social e de saúde pública. Numa primeira fase a água chegava apenas aos chafarizes da vila, nesta altura ainda corriam esgotos a céu aberto pelas ruas. Numafase posterior, e após fortes investimentos em infraestruturas foi possível fazer chegar a água aos domicílios bem como recolher as águas residuais aí produzidas. Atualmente centenas de quilómetros de condutas atravessam o subsolo do concelho, transportando a água desde os furos de captação, passando pelas estações elevatórias e reservatórios, até chegar ao consumidor em quantidade e qualidade (SMAS, 2009).

4.1.2. - Caracterização geral do concelho de Almada

O concelho de Almada pertence ao Distrito de Setúbal e, sendo um concelho litoral, faz fronteira a Oeste com o Oceano Atlântico, a Norte com o estuário do rio Tejo (junto à sua foz), a Sul com o concelho de Sesimbra e a Este com o concelho do Seixal.

Com uma população de cerca de 172 000 habitantes (valor “corrigido”, relativamente aos resultados provisórios dos Censos 2011, não contabilizando a população de Pinhal de Vidal, que se encontrava associada à freguesia da Sobreda, mas que não pertence ao concelho), Almada é um concelho onde o sector terciário tem vindo a reforçar-se, constituindo-se como o sector de atividade dominante, 76% da população ativa (Censos, 2001), onde o comércio e os serviços públicos são os maiores empregadores. O sector primário ocupa apenas 1% e o sector secundário 23%. Em 2001, cerca de 50% da população ativa tinha a sua ocupação no concelho (Censos, 2001).

O concelho apresenta uma área territorial de cerca de 70 km² e divide-se nas seguintes onze freguesias: Almada, Cacilhas, Caparica, Charneca de Caparica, Costa de Caparica, Cova da Piedade, Feijó, Laranjeiro, Pragal, Sobreda e Trafaria administrativamente agrupadas em 5 freguesias/uniões de freguesia.

4.1.3. – O sistema de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água do concelho de Almada é constituído por diversas infraestruturas que permitem proceder à captação, adução, reserva e distribuição, incluindo infraestruturas de controlo de qualidade da água captada, conforme quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Síntese das infraestruturas que constituem o sistema de abastecimento de água de Almada.

Origens da água	Captações (nº)		32
	Postos de cloragem (nº)		8
Sistema de elevação, adução e reserva	Grupos elevatórios (nº)		35
	Reservatórios (nº)	Enterrados	6
		Apoiados	19
		Elevados	7
	Células (nº)		43
	Conduas adutoras (Km)		72
	Estações elevatórias (nº)		9
Sistema de distribuição	Redistribuição (Km)		873

As captações existentes referem-se a furos subterrâneos, com profundidades variáveis entre aproximadamente 90 e 520 m. Os furos encontram-se localizados, maioritariamente, em três zonas do concelho do Seixal, nomeadamente, Corroios, Quinta da Bomba e Vale de Milhaços. No quadro 4.2 apresentam-se as captações existentes para o abastecimento de água a Almada.

Atualmente encontram-se em funcionamento 6 captações construídas na década de oitenta e 15 na década de noventa. As restantes 10 captações foram executadas durante a última década. As captações mais antigas, JK15 e AC8, datam de 1980 e 1981, respetivamente.

Quadro 4.2 - Caracterização das captações do sistema de abastecimento de água a Almada

Designação	Ano Construção	Profundidade (m)	Cota de terreno (m)	Caudal _{rec} [m³/h]	Caudal _{exp} [m³/h]
AC8	1981	512	50	72	70
CBR1	1995	135	24	144	130
CBR2	1995	135	24	144	150
CBR3	1995	120	20	126	100
CBR4	1995	139	14	126	60
FR2	1991	136	27	136	120
FR3	1991	130	30	162	120
FR4	1991	141	39	180	150
FR5	1991	141	46	162	160
FR6	1991	147	34	207	160
FR8	1991	150	28	198	130
FR9	1991	92	20	90	65
FR10	1992	132	40	180	120
JK15	1980	114	27	165	120
JK17	1986	375	5	288	40
JK18	1989	120	26	162	120
JK20	1989	102	16	216	60
JK21	1998	398	3	80	80
JK23	1998	398	8	90	50
JK24	1999	147	25	120	120
JK25	2000	147	54	60	50
JK26	2000	374	5	100	70
JK27	2000	111	5	25	25
JK28	2000	124	50	100	100
PS2	1989	124	10	162	110
RA1	2004	135	31	120	120
RA2	2005	425	10	100	60
RA3	2006	392	5	150	80
RA4	2006	412	6	140	120
SL1	2008	-	16	90	70
SL2	2008	433	20	90	90
PS3	Construída mas não se encontra em funcionamento				

Na figura 4.1 apresenta-se a localização das várias captações de água existentes, indicando-se o respetivo ano de construção.

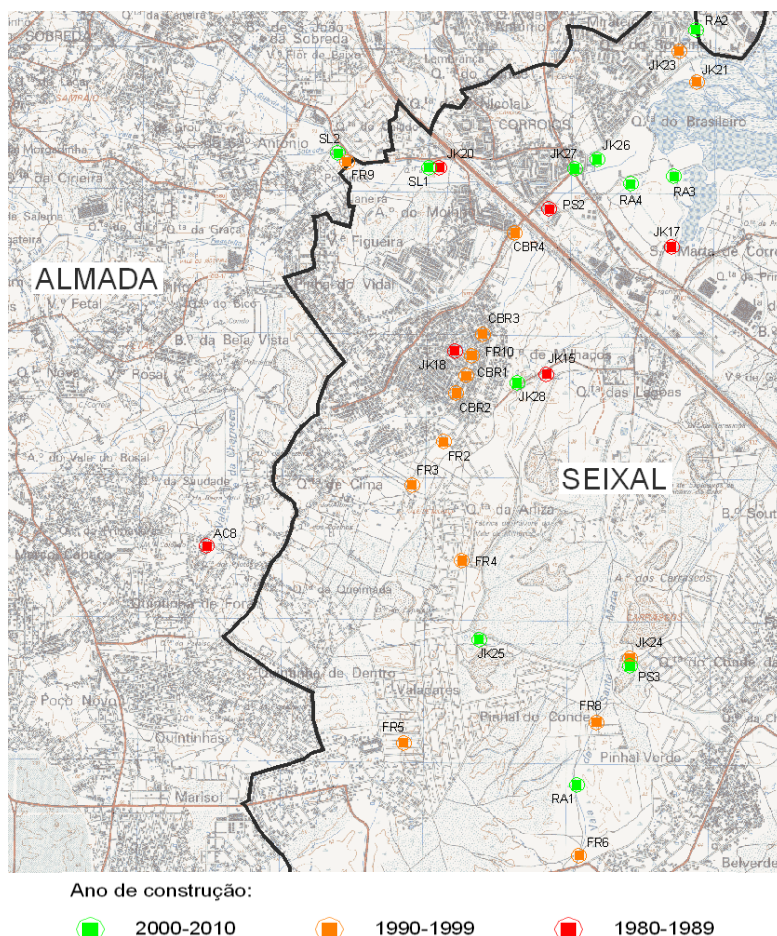


Fig.4.1 – Localização das captações e identificação consoante o respetivo ano de construção.

As captações são caracterizadas por apresentarem profundidades médias na ordem dos 215 m, variando entre os 92 m (FR9) e 512 m (AC8), o caudal de extração para o qual as captações foram dimensionadas varia entre 25 e cerca de 290 m³/h, com uma média de aproximadamente 135 m³/h.

A água captada é conduzida até às três Estações Elevatórias Primárias (Vale Milhaços, Corroios e Quinta da Bomba), a partir das quais a água é transportada para os diversos subsistemas de abastecimento, consoante as necessidades verificadas. As restantes captações encontram-se localizadas na Sobreda e Nisa, abastecendo o subsistema do Feijó.

Os 32 reservatórios existentes são constituídos por 25 células semienterradas, 10 células enterradas e 8 células elevadas. Os reservatórios apresentam uma capacidade total de armazenamento de aproximadamente 85 375 m³, destacando-se pela capacidade de armazenamento os reservatórios do Pragal e Raposo (ambos com capacidade de 21 000 m³). A capacidade de reserva instalada permite assegurar o fornecimento de água ao Concelho durante 1,5 - 2 dias (depende da estação do ano).

Os postos de cloragem encontram-se associados aos reservatórios que recebem a água captada, designadamente os reservatórios de Corroios, Feijó, Quinta da Bomba e Vale de Milhaços. A desinfecção da água captada é feita pela adição de cloro gasoso, na quantidade adequada às características e volume da água.

O sistema de elevação é constituído por 9 estações elevatórias e 35 grupos elevatórios em funcionamento.

A rede de adução é composta por 25 condutas adutoras que fazem a ligação entre os subsistemas primários de armazenamento e elevação e os subsistemas secundários de armazenamento, elevação e distribuição, perfazendo um total de 72 km de extensão.

A esta rede acrescem ainda as condutas que fazem a ligação entre as captações subterrâneas e os reservatórios de passagem e/ou de distribuição. O diâmetro das condutas varia entre os 80 mm e os 800 mm; os materiais com mais expressão são o fibrocimento, PVC e o ferro fundido dúctil, encontrando-se igualmente pequenos troços de condutas em polietileno de alta densidade (PEAD) e aço, mas com muito pouco significado na globalidade da extensão da rede.

A rede de distribuição constitui a rede “em baixa”, com cerca de 882 km de extensão e diâmetros até 700 mm. À semelhança da rede “em alta”, a rede de distribuição é composta pelos mais variados materiais de condutas; esta variância prende-se maioritariamente com o facto de serem redes construídas ao longo das últimas sete décadas (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 – Alguns dados sobre o sistema de abastecimento de água ao Concelho de Almada

População Servida	172 000 habitantes
Volume de água captada/ano	16.090.000 m ³
Origem de água	Subterrânea
Localização das Captações	93% no concelho do Seixal
Produção diária máxima	77.880 m ³
Dimensão do Sistema adutor	Cerca de 84 km
Condutas de distribuição de água	882 Km
Volume total de reserva	85.350 m ³

Refira-se que o sistema de abastecimento de água é gerido através de uma central de telegestão, atualmente localizada nas instalações da central de Vale de Milhaços, na figura 4.2 apresenta-se uma vista do esquema hidráulico controlado nesta central.

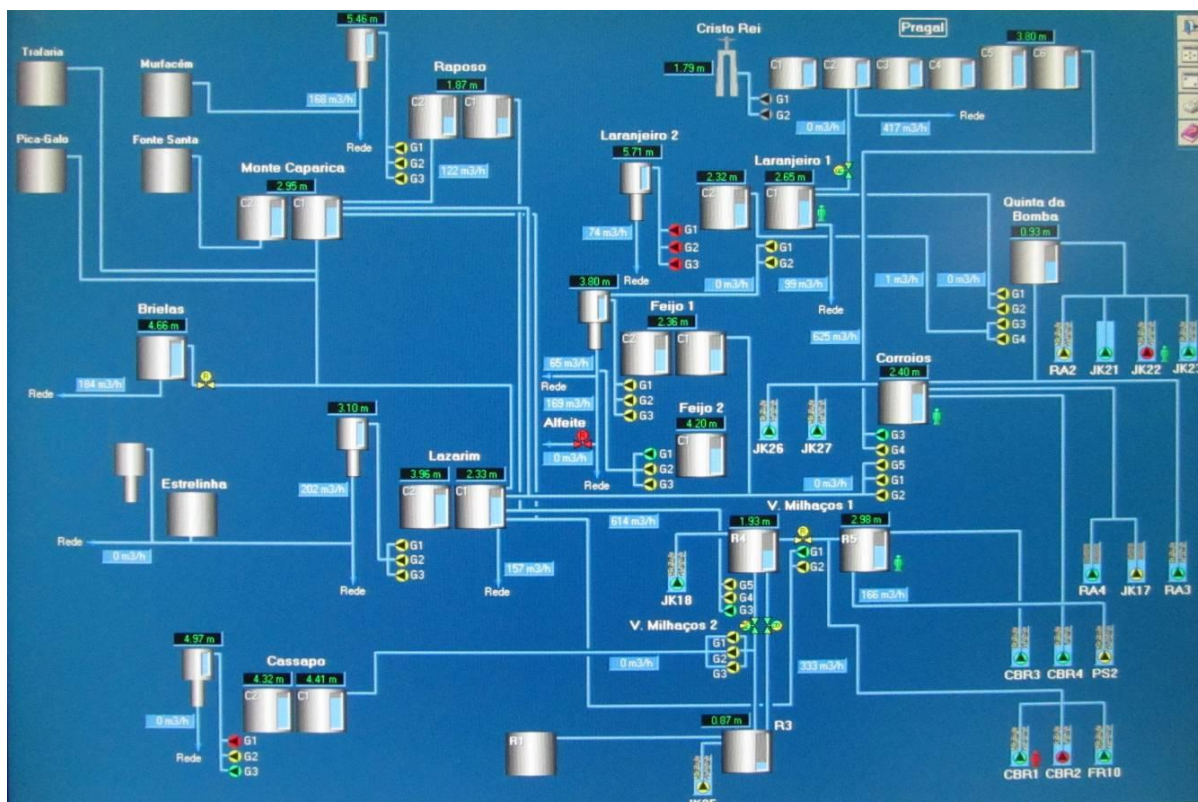


Figura 4.2 – Esquema hidráulico controlado na central de telegestão do sistema de abastecimento de água de Almada (SMAS, 2014).

Na figura 4.3 apresenta-se um mapa esquemático do sistema de abastecimento de água ao concelho de Almada no qual se apresenta, de forma simplificada, o funcionamento do sistema da seguinte forma: a água extraída da captação é, na estação elevatória, elevada para um reservatório a partir do qual é distribuída por gravidade ao núcleo populacional ou zona de influência.

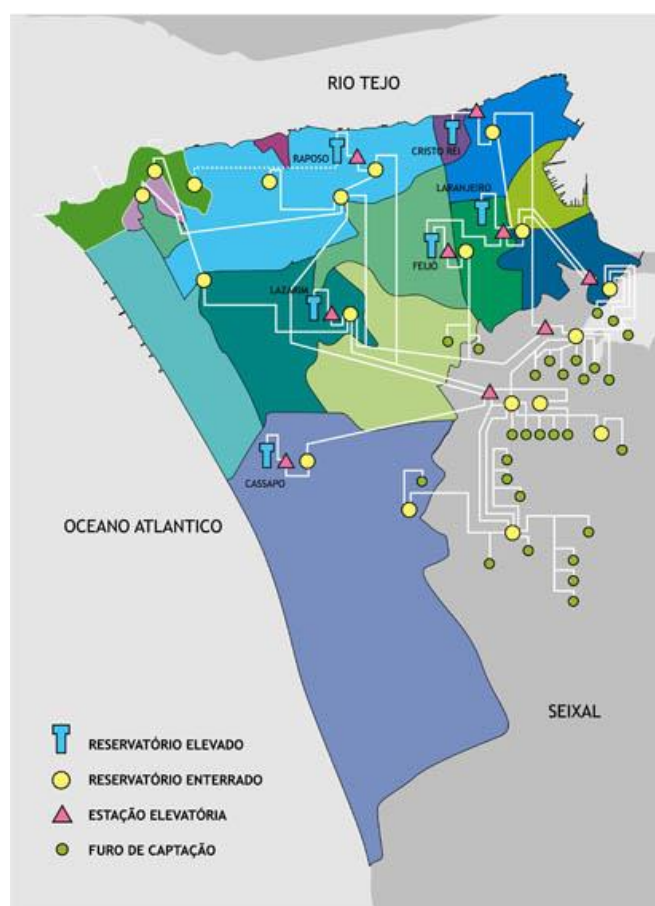


Fig. 4.3 - Mapa esquemático do sistema de abastecimento de água de Almada (SMAS, 2014) mostrando o funcionamento do sistema da seguinte forma: a água extraída da captação é, na estação elevatória, elevada para um reservatório a partir do qual é distribuída por gravidade ao núcleo populacional ou zona de influência, conforme a seguinte legenda:



4.2. -MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS QUE CONSTITUEM O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os reservatórios são parte integrante do sistema de adução e da rede de distribuição de água, compensando as flutuações de consumo ao longo do dia, face à adução, reserva de emergência, equilíbrio de pressão na rede e regularização do funcionamento de bombagem. Para satisfazer as necessidades do consumo, os reservatórios devem ter, pelo menos, igual volume de água correspondente a um dia de consumo médio anual. A esta capacidade terá que se juntar a reserva para compensar as perdas na rede e atender ao serviço de incêndio. Deste modo, simplifica-se a exploração na rede, assegura-se a regularidade de pressão e o funcionamento da bombagem sempre que possível nas horas de vazio por razões de eficiência energética e consequente redução da fatura mensal (Sousa, 2001).

No Quadro 4.4 apresentam-se as principais características dos diferentes reservatórios elevados, nomeadamente no que se refere ao ano de início de exploração, número de células e volume de armazenamento associado, cota de soleira (Cota_sol) e cota máxima (Cota_máx).

Quadro 4.4 – Principais características dos reservatórios elevados do concelho de Almada. Cota de soleira (Cota_sol) e cota máxima (Cota_máx).

Reservatório	Ano início exploração	Nº de células	Volume (m ³)	Altura do reservatório	Cota_sol (m)	Cota_máx. (m)
Cristo-Rei	1965	1	20		125	128
Feijó	1970	1	750	36	100	104
Lazarim	1975	1	430	39	130	133
Estrelinha	1979	1	100	23	126	130
Raposo	1982	3	1000	46	147	153,5
Laranjeiro	1990	1	500	36	78	84
Cassapo	1993	1	500	40	110	115

Com vista ao estabelecimento de um plano de intervenção que contribua para uma gestão patrimonial mais eficiente foram realizadas inspeções preliminares que permitiram avaliar do estado de conservação geral destes 7 reservatórios.

4.3 - METODOLOGIA

Numa fase inicial tornou-se necessário procurar e recolher os elementos de projeto existentes e respeitantes aos reservatórios em estudo para servirem de elementos de base para o trabalho.

Nessa pesquisa foi possível encontrar grande parte dos elementos de projeto e de concurso referentes aos reservatórios em análise.

Os elementos recolhidos são em suporte papel, não existindo qualquer suporte digital dos mesmos por se tratarem de projetos que variam na sua antiguidade entre o ano 1965 reservatório do Cristo Rei e 1993 reservatório do Cassapo.

Por se tratarem de elementos fundamentais para o estudo e gestão patrimonial destas infraestruturas ao longo da sua vida útil todos os documentos localizados foram digitalizados e guardados.

Em seguida passou-se à Inspeção levada a cabo, fundamentalmente, através de exame visual, com o objetivo de identificar e caracterizar sumariamente o seu estado de conservação. Para tal foram definidos critérios de diagnóstico para proceder a avaliação dos reservatórios elevados existentes no concelho de Almada (Quadro 4.5).

Para uma observação mais detalhada pelo exterior e devido à dificuldade de acesso às cotas superiores dos reservatórios, recorreu-se a utilização de um Drone DJI Phantom 2 com uma câmara acoplada modelo GoPro Hero3+ Black Edition com a resolução até 4K, fotografia de 12MP com 30 fps que permitiu identificar as principais anomalias não detetáveis a partir da base por simples observação visual.

Quadro 4.5 - Critérios considerados para a classificação do estado de conservação dos reservatórios.

Estado de conservação	Critérios
Bom - 5	Estrutura sem necessidade de intervenção imediata.
Razoável + 4	Estrutura sem necessidade de intervenção a curto prazo.
	Estrutura com problemas inerentes à idade (ao nível de pinturas, fendas ou equipamentos).
	Funcionamento regular.
Razoável 3	Estrutura com necessidade de intervenção a médio prazo.
	Estrutura com problemas inerentes à idade (ao nível estrutural e/ou registo de perdas de água).
	Funcionamento regular.
Razoável - 2	Estrutura com necessidade de intervenção a médio prazo
	Estrutura com problemas inerentes à idade (ao nível estrutural e com registo de perdas de água).
	Funcionamento regular
Deficiente 1	Problemas significativos ao nível estrutural.

4.4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DAS INSPEÇÕES PRELIMINARES

Da análise dos referidos projetos constatou-se que o gabinete autor de todos os projetos foi a Hidrotécnica Portuguesa (gabinete já extinto), empresa que liderava o mercado nacional e colonial tendo sido autora dos projetos de engenharia mais complexos e importantes em Portugal e nas ex. colónias como se destaca o projeto da barragem de Cahora Bassa em Moçambique (maior investimento português de sempre feito fora do território nacional).

Os resultados obtidos das inspeções preliminares realizadas apresentam-se nos quadros 4.6 e 4.7.

Quadro 4.6 - Identificação mapeamento e caracterização de anomalias no exterior dos reservatórios

Inspeção visual exterior- Identificação mapeamento e caracterização de anomalias						
Reservatórios	Pintura	Revestimento	Fendas	Escorrências	Delaminação do betão exposição armaduras	Estado médio de conservação
Cristo-Rei	n.a.	5	4	2	5	4
Feijó	4	4	4	4	5	4,2
Lazarim	5	5	5	5	5	5
Estrelinha	1	2	2	2	3	2
Raposo	5	5	5	5	5	5
Laranjeiro	5	5	5	5	5	5
Cassapo	1.	1	1	1	1	1

n.a. não aplicável; Escala Bom 5;Razoável + 4; Razoável 3: Razoável - 2: Deficiente 1.

Quadro 4.7 - Identificação mapeamento e caracterização de anomalias no interior dos reservatórios

Inspeção visual interior - Identificação mapeamento e caracterização de anomalias						
Reservatórios	Pintura	Revestimento	Fendas	Escorrências	Delaminação do betão exposição armaduras	Estado médio de conservação
Cristo-Rei	5	5	4	5	5	4,8
Feijó	5	5	5	5	5	5
Lazarim	5	5	5	5	5	5
Estrelinha	2	2	2	3	3	2,4
Raposo	5	5	5	5	5	5
Laranjeiro	5	5	5	5	5	5
Cassapo	5	5	5	3	5	4,6

Escala Bom 5;Razoável + 4; Razoável 3: Razoável - 2: Deficiente 1.

O diagnóstico preliminar efetuado permitiu verificar o estado geral de conservação dos reservatórios elevados que de um modo geral pode ser considerado razoável + / Bom (4-5 valores na escala estabelecida) (Fig. 4.4), um dos fatores que poderá ter contribuído para esta classificação foi o facto de os reservatórios se encontrarem pintados quer pelo exterior quer pelo interior. Há, no entanto, alguns casos em que o estado geral apresenta problemas que deverão ser solucionados a curto/médio prazo. No quadro 4.8 apresenta-se um resumo do estado de conservação dos reservatórios elevados do concelho de Almada.



Fig. 4.4 – (Página seguinte) Fotografias dos reservatórios elevados do concelho de Almada. A- Reservatório elevado localizado no pilar do Cristo-Rei; B – Reservatório elevado do Laranjeiro; C – Reservatório elevado do Feijó; D – Reservatório elevado do Raposo; E – Reservatório elevado da Estrelinha; F – Reservatório elevado do Lazarim; G – Reservatório elevado do Cassapo.

Quadro 4.8. – Estado geral de conservação dos reservatórios elevados do concelho de Almada

Reservatório	Estado de conservação
Cristo-Rei	4,4
Feijó	4,6
Lazarim	5
Estrelinha	2,2
Raposo	5
Laranjeiro	5
Cassapo	2,8

Face a esta análise preliminar, concluiu-se que seria prioritário o estudo detalhado do estado de conservação do reservatório elevado do Cassapo por apresentar um elevado grau de degradação com perda de água e escorrências visíveis pelo exterior.

O reservatório da Estrelinha, apesar de apresentar um estado de degradação elevado não será priorizado por se encontrar fora de serviço.

Quanto ao reservatório do Cassapo, a localização deste reservatório, a área de influência e a particularidade de não ter sistema redundante que o substitua na sua função de distribuição de água, acresce à importância no seu estudo e reabilitação.

A análise preliminar permitiu identificar patologias graves para este tipo de infraestrutura que comprometem seriamente a sua durabilidade e utilização.

Foram detetadas numerosas fendas ao nível da cuba com trespasses da secção de betão e consequente escorrências de água para o exterior.

A delaminação do betão é frequente no exterior e pela observação visual efetuada, existem indícios de que esta poderá dever-se às escorrências existentes e ou devida a recobrimentos da armadura reduzidos.

Nas zonas delaminadas com exposição de armadura é possível verificar que ainda não existe perda significativa de secção dos varões, identificando-se apenas oxidação superficial.

4.4.1.- Definição do plano de inspeção face ao estado de conservação

As anomalias detectadas, foram referenciadas e ilustradas através de registo fotográfico. A inspeção mais pormenorizada do reservatório do Cassapo será complementada com a utilização de métodos de diagnóstico não destrutivos ou pouco intrusivos incluindo a deteção de armaduras e medição dos respetivos recobrimentos, ensaios esclerométricos, determinação da profundidade de carbonatação do betão, teor de cloretos no betão e extração de carotes para ensaios à compressão.

5

CASO DE ESTUDO: LEVANTAMENTO ESTRUTURAL E DIAGNÓSTICO PORMENORIZADO DO RESERVATÓRIO DO CASSAPO

5.1. – O RESERVATÓRIO DO CASSAPO

Os SMAS - Serviços Municipalizados de Água e Saneamento do Município de Almada foram criados em 1950. O aumento demográfico do concelho em paralelo com o aumento das necessidades de fornecimento de água e a ausência de investimento em infraestruturas adequadas levou a que em 1970 os gestores dos SMAS tenham revelado alguma preocupação com o fornecimento de água a Almada tal como ficou registado no relatório e contas desse ano: "com o aumento dos consumos de água que se vêm verificando de ano para ano e o decréscimo das reservas hídricas (...), o problema do abastecimento de água (...) ao concelho, carece de minucioso estudo e permanente atenção" (SMAS, 2014).

No âmbito do plano estratégico desenvolvido pela Câmara Municipal de Almada e pelos SMAS de Almada com vista a assegurar o futuro do sistema de abastecimento de água, e também de drenagem de águas residuais no concelho, incluindo a sua reestruturação organizacional, no sentido de autonomização de algumas áreas de apoio e significativos investimentos em variadas áreas, como sejam: Renovação, construção e ampliação das redes de água e de águas residuais; remodelação administrativa e operacional e proteção e qualidade do ambiente.

No âmbito deste plano a década de noventa caracterizou-se pela concretização de grandes infraestruturas de abastecimento de água e de águas residuais em particular obras de grande vulto, nomeadamente: -Construção do reservatório e Central Elevatória do Cassapo; -Renovação da rede de distribuição de água; -Conduta adutora Vale Milhaços - Cassapo (50,2 km); -Central elevatória e reservatório elevado do Laranjeiro; -Central elevatória de Vale Milhaços; -Construção de mais de 12 furos de captação.

Parte das verbas necessárias para a construção dos reservatórios elevado do Cassapo e Laranjeiro, bem como da estação de tratamento de águas residuais foram resultado de candidaturas apresentadas à CCRLVT no âmbito do programa FEDER.

A construção do reservatório elevado do Cassapo foi feita após concurso público internacional ao qual concorreram 5 empresas.

O projeto foi feito pela Hidrotécnica Portuguesa em Abril de 1989 e a sua construção esteve a cargo da EMPRESA ENSUL - Empreendimentos Norte Sul. O contrato de empreitada foi assinado a 24 abril de 1991 com um valor de cerca de 530 000 euros. A sua construção iniciou-se em junho de 1991.

O Reservatório elevado do Cassapo localizado na Rua da Eira (GPS 38.623302, -9.200485) (Fig. 5.1.) entrou em exploração em 1993, tem capacidade para armazenar um volume total de 500 m³ de água. Para além do reservatório elevado esta infraestrutura inclui ainda 2 células semi-enterradas, cada uma com capacidade para 2000 m³ e um grupo de eletrobombas responsáveis pela elevação da água à célula do reservatório elevado com uma capacidade de elevação de 500 m³/h (altura manométrica de cerca de 35 m.c.a) com uma potência entre os 75 e 90 kW. Este reservatório, juntamente com a célula semi-enterrada, abastece uma população de cerca de 30.000 hab (12,3%) que abrange, essencialmente as localidades da Charneca de Caparica, Aroeira e Fonte da Telha. A rede de distribuição sob a influência deste reservatório tem uma extensão aproximada de 257 km, tratando-se do reservatório com a maior rede de distribuição do concelho de Almada.



Fig. 5.1. – Vista aérea do reservatório elevado do Cassapo bem como da restante infraestrutura, incluindo reservatórios semi-enterrados e grupo de eletrobombas. (Fotografia captada com recurso a Drone equipado com câmara de vídeo GoPro Hero 3+ Blackedition).

Com a entrada em funcionamento deste e dos outros novos reservatórios os SMAS de Almada passaram a dispor de uma reserva de água para praticamente 2 dias. Desta forma está totalmente assegurado o abastecimento a toda a população residente bem como a todas as pessoas que visitam o concelho, em particular na época estival.

A água das redes de distribuição dependentes do Reservatório do Cassapo pode ser classificada quanto à sua dureza como uma água moderadamente dura.

5.2 – METODOLOGIA

5.2.1. - VALIDAÇÃO DO PROJETO - CONFORMIDADE DO PROJETO COM O EXECUTADO

No estudo do reservatório do Cassapo e tendo por base os elementos originais de projeto (Fig 5.2) foi realizada a validação do projeto *in situ*. Para esta validação recorreu-se à deteção levantamento e registo de armaduras em 14 zonas distintas e afastadas entre si, considerando que a amostragem é representativa. As zonas de deteção de armaduras distribuem-se da seguinte forma: no interior foram estudadas 10 zonas e 4 zonas no exterior. A escolha das zonas para deteção de armadura teve em conta os seguintes fatores:

- Estado geral de conservação
- Facilidade de acesso às zonas de deteção de armadura
- Representatividade dos elementos estruturais
- Distribuição uniforme ao longo de toda a estrutura
- Número de zonas suficiente e representativo

Efetuaram-se medições pontuais da geometria dos elementos estruturais e extraíram-se 6 provetes cilíndricos para ensaio à compressão.

5.2.2. - DETECÇÃO DE ARMADURAS E AVALIAÇÃO DO SEU DIÂMETRO E RECOBRIMENTO

Com a utilização de pacómetros do tipo FerroScan PS200 Hilti (DEC/FCT/UNL) foi possível detetar a posição e distribuição das armaduras no interior do betão assim como medir o seu recobrimento, em estruturas de betão armado, de forma não destrutiva. O ferrosan é um aparelho portátil, alimentado por baterias e composto, fundamentalmente, pela unidade de leitura, e por um sensor que faz o varrimento das zonas com armadura.

O método de deteção de armaduras é auxiliado por um sistema áudio, variável com a distância às armaduras.

Este equipamento permitiu pré definir um diâmetro estimado para os varões detetados, bem como para o tipo de aço dos varões em estudo.

Como existiam elementos de projeto que indicavam o diâmetro utilizado, o equipamento foi ajustado para esse valor conseguindo assim minimizar o erro associado à medição.

Para a deteção de armadura escolheram-se, sempre que possível, superfícies lisas e isentas de irregularidades.

Foram evitados recobrimentos reduzidos associados a malhas de armadura muito densas de modo a obter maior fiabilidade nos resultados.

O varrimento horizontal permitiu obter o posicionamento da armadura vertical, ao proceder ao varrimento na vertical foi possível obter o posicionamento da armadura horizontal.

O equipamento permitia guardar os dados recolhidos a quando da deteção da armadura (diâmetro, afastamento entre varões e recobrimento), no entanto as malhas de armadura detetadas foram desenhadas nos elementos estruturais e os recobrimentos assinalados na respetiva malha para servirem de auxílio aos restantes ensaios.

5.2.3. - ENSAIOS ESCLEROMÉTRICOS

Os ensaios esclerométricos permitiram obter *in situ*, de forma não destrutiva, a resistência superficial de elementos de betão. Os valores obtidos indicaram a resistência superficial, até uma profundidade de 5 cm. Este ensaio permitiu avaliar a homogeneidade do betão, verificar a existência de um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de fazer ensaios mais completos. A tensão de rotura à compressão, referente a provetes cúbicos ou cilíndricos, foi estimada com base na sua correlação com o índice esclerométrico. Este ensaio não substituiu a determinação da tensão de rotura à compressão através de provetes cilíndricos, em laboratório.

Os ensaios esclerométricos foram realizados diretamente no betão numa superfície lisa, previamente preparada (usando um material abrasivo que elimine partículas soltas que possam distorcer os resultados), distante das armaduras (previamente localizadas), e com o esclerómetro colocado perpendicularmente à superfície a ensaiar. Nos ensaios esclerométricos realizados utilizou-se um esclerómetro do tipo de Schmidt. O valor de referência obtido através da escala do aparelho – índice esclerométrico – permitiu avaliar o valor da resistência à compressão do betão, tendo em conta o ângulo entre o eixo longitudinal do esclerómetro e a superfície ensaiada (oz-diagnostico, 2014).

Em cada ensaio foram executadas pelo menos 12 determinações (disparos), diminuindo dessa forma os erros de leitura devido a zonas com concentração ou insuficiência de agregados. A deteção prévia da armadura e o respetivo registo no elemento estrutural permitiu efetuar os disparos afastados da armadura. O diâmetro da zona de ensaio tinha cerca de 15 cm. Os valores obtidos para o “índice esclerométrico” foram posteriormente relacionados com o ábaco colocado na parte lateral do esclerómetro, estimando-se a resistência à compressão do material ensaiado. Os valores do índice esclerométrico obtidos foram utilizados para o cálculo da média (eliminando leituras que difiram mais de 7 valores da média) e esta utilizada para a determinação da tensão de rotura média à compressão do betão.

Por se tratar de um ensaio de resistência superficial, os valores obtidos foram interpretados com algumas reservas, e comparados com os valores obtidos pelo ensaio à compressão dos provees cilíndricos.

5.2.4. - DETERMINAÇÃO DA PERCENTAGEM DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS NO BETÃO

O método utilizado foi o RCT (Rapid Chloride Test – Germann Instruments) que permite determinar o teor de cloretos presentes no betão e que é solúvel em ácido, este método é habitualmente referido como teor total de cloretos.

Uma amostra de 3 g, de pó do betão retirado do furo previamente realizado, foi dissolvida em 20 ml de uma solução ácida normalizada. Os iões de cloreto reagem com o ácido numa reação eletroquímica, cujos iões produzidos são quantificados num condutivímetro equipado com um eletrododevidamentecalibradoe provido de um sensor de temperatura, os aparelhos habitualmente utilizados convertem automaticamente a condutividade gerada na concentração de iões cloreto.

A precisão do método RCT (Germann Instruments) foi comparada com os métodos de titulação tradicionais tendo-se observado elevada correlação dos resultados. O desvio médio dos resultados observado é de $\pm 4\%$ (Germann Instruments, 2014).

Para o cálculo do teor de cloretos por massa de cimento foi admitida uma dosagem de 300 kg de cimento por metro cúbico de betão.

O teor máximo de Cl^- encontra-se fixado pelo Regulamento de Betões e Ligantes Hidráulicos, no Quadro VIII do Anexo III. Os limites impostos são de 0,4 por cento de ião de cloro em relação ao peso de cimento, no caso do betão armado, e de 0,2 por cento no caso do betão pré-esforçado.

Foi efetuada recolha de pó para a determinação do teor de cloretos a várias profundidades tendo presente os recobrimentos específicos dessa zona e acautelando sempre uma recolha a uma profundidade superior ao maior dos recobrimentos.

5.2.5. - DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO DO BETÃO

A taxa de carbonatação depende de vários fatores, particularmente da permeabilidade do betão (quanto mais permeável, maior será a taxa de carbonatação) e da humidade relativa (a carbonatação ocorre mais facilmente quando a humidade relativa se situa entre 55 e 75 por cento). Conhecendo a posição da frente de carbonatação em vários pontos duma estrutura de betão armado, é possível avaliar a sua durabilidade e estimar a extensão das zonas a reparar. Para a determinação da profundidade de carbonatação foram feitos furos de ensaio tendo em consideração os pontos singulares da secção do elemento estrutural em estudo, para a seleção exata dos pontos de medição foi tida em conta a posição das armaduras, previamente detetadas, a fim de não serem danificadas.

Para uma correta validação dos resultados, o furo foi limpo de todo o pó de betão (cimento e agregados), resultante da perfuração, com o auxílio de uma bomba de ar manual. Para se medir a profundidade da frente de carbonatação aplicou-se uma solução alcoólica de fenolftaleína nas superfícies internas do furo de ensaio (recentemente expostas), com um nebulizador, e observou-se a sua coloração. A zona carbonatada apresentou-se incolor e a zona não carbonatada com uma coloração carmin. A medição da profundidade da frente de carbonatação foi feita utilizando um

paquímetro graduado em mm. A realização deste ensaio baseou-se na especificação E391 – LNEC (OZ-diagnóstico, 2014).

5.2.6- EXTRAÇÃO DE CAROTES

Para determinar com maior precisão a resistência de betões já aplicados é, por vezes, necessário proceder à recolha de amostras desses betões para posteriormente realizar ensaios de rotura à compressão. O método mais habitual é a extração de carotes. Esta técnica, quando bem utilizada permite não alterar significativamente a estrutura em estudo. O equipamento utilizado foi uma carotadora e respetivos acessórios (Laboratório de estruturas do DEC/FCT/UNL). As carotes foram cortadas, retificadas e ensaiadas à compressão pela APEB (Associação portuguesa das empresas de betão pronto).

A recolha das carotes foi feita de forma a não danificar as armaduras que foram previamente identificadas.

As amostras recolhidas foram identificadas, e a sua localização, referenciada num desenho esquemático. Previamente à realização do ensaio à compressão os topos das carotes foram cortados e retificados em laboratório, obtiveram-se provetes com uma altura igual ao seu diâmetro. Os ensaios de rotura à compressão simples dos provetes foram realizados de acordo com a Norma NP EN 12504-1 (2009). Os resultados obtidos foram analisados tendo por base a NP EN 13791 (2008).

5.2.7- MEDIÇÃO DA ABERTURA DE FENDAS

A medição da abertura de fendas foi efetuada com recurso a uma régua graduada adequada a este tipo de medição.

Quadro 5.1 – Zonas estudadas e ensaios realizados durante a avaliação do estado de conservação do reservatório do Cassapo.

Zona	Localização	Deteção armadura	Cl	Carbonatação	Ensaio esclerométricos	Sondagem armadura	Carotes
1	Fuste base int. (nível 1)	x	x	x	x	x	x
2	Fuste base int. (nível 2)	x			x		
3	Fuste base int. (nível 3)	x			x		
4	Fuste base int. (nível 4)	x			x		
5	Arranque da cuba int.	x	x	x	x	x	x
6	Arranque da cuba int.	x			x		x
7	Fundação	x	x	x	x	x	x
8	Fuste ext. base nível 1	x	x	x	x	x	
9	Cuba interior	x			x		
10	Arranque da cuba int.	x	x	x	x	x	x
11	Fundação	x			x		x
12	Arranque da cuba ext.	x			x		
13	Cuba ext.	x	x	x	x		
14	Fuste ext. elevado	x			x		

5.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.3.1. – VALIDAÇÃO *IN SITU* DA OBRA

Foi possível avaliar *in situ* se a obra cumpriu as especificações e exigências do projeto, realizado pela Hidrotécnica Portuguesa em Abril de 1989 (Fig. 5.2). Através da inspeção foram verificados os seguintes parâmetros: geometria; diâmetro das armaduras; afastamento das armaduras; recobrimento das armaduras; a classe de resistência do betão. Não foi avaliada a classe de resistência do aço por ensaio laboratorial de tração, no entanto, as nervuras observadas foram comparadas com as referidas no documento de classificação do LNEC LDC 60 – 4/2014 de 18 de Agosto, tendo-se concluído tratar-se de um aço A400NR. Em projeto estava previsto betão B20, armaduras A400 NR, com um recobrimento mínimo da armadura em contato com a água de 4 cm, em contato com o exterior de 3 cm e restantes zonas 2 cm.



Fig 5.2 – Projeto do reservatório e estação elevatória do Cassapo, realizado em Abril 1989 para os Serviços Municipalizados de água e saneamento do Município de Almada

Em relação à qualidade do betão e sua aplicação na fase de obra, este apresenta um elevado índice de vazios possíveis de observar nas carotes extraídas para ensaio, indiciando pouco cuidado na sua vibração e compactação.

A disposição da armadura também se registou como falha grave na fase de execução comprometendo seriamente os recobrimentos mínimos determinados em projeto levando a uma deterioração acelerada do betão.

5.3.2. – DETEÇÃO DE ARMADURAS

Das 14 zonas seleccionadas para deteção de armaduras, 10 situam-se no interior do reservatório e as restantes 4 no exterior encontrando-se a sua localização apresentada no anexo A (figura A.1 e A.2). Os resultados obtidos apresentam-se no quadro 5.2 e nas figuras 5.3, 5.5, 5.6 e 5.7.

Quadro 5.2 – Valores de recobrimento e profundidade de carbonatação do betão em 14 zonas do interior e exterior do reservatório do Cassapo.

Zona	Designação	Recobrimento (mm)				Carbonatação média (mm)
		mín.	máx	méd.	D.P.	
1	Fuste base interior nível 1	14	38	30	5	4
2	Fuste base interior nível 2	30	54	43	5	-
3	Fuste base interior nível 3	16	28	22	3	-
4	Fuste base interior nível 4	34	52	43	4	-
5	Arranque da cuba interior	10	38	23	7	5
6	Arranque da cuba interior	18	58	35	10	-
7	Fundação	38	63	50	6	4
8	Fuste exterior base nível 1	20	44	29	5	5
9	Cuba interior	4	18	10	3	-
10	Arranque da cuba interior	14	37	22	6	5
11	Fundação	26	34	30	2	-
12	Arranque da cuba exterior	31	44	38	3	-
13	Cuba exterior	23	70	50	11	5
14	Fuste exterior elevado	4	34	23	9	-

5.3.2.1. – Análise dos resultados no interior do reservatório

No interior do reservatório definiram-se três zonas: a zona 1,2,3 e 4 que representam o fuste do reservatório e distribuem-se na vertical de baixo para cima pela sua ordem numérica crescente.

As zonas 7 e 11 representam as fundações do reservatório.

Constituem a terceira zona distinta as malhas de armadura das zonas 5,6,9 e 10 e representam a zona superior do reservatório aqui designada por arranque da cuba e cuba.

O agrupamento de zonas em: fuste, fundações e cuba ficou a dever-se ao facto de se tratarem de elementos estruturais com particularidades distintas.

i) - Fuste

a) Zona 1 - Fuste base interior nível 1

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 14 mm e máximo de 38mm, a média dos valores obtidos foi de 30mm e o valor do desvio padrão foi 5.

Como se pode observar no Fig. 5.3, 80% dos valores de recobrimento estão compreendidos no intervalo [25-40mm].

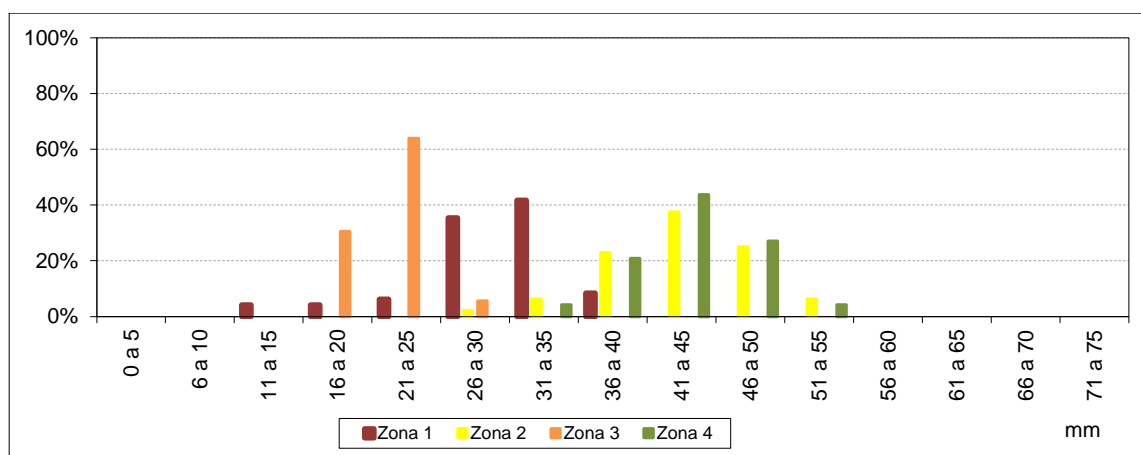


Fig. 5.3 – Distribuição dos valores de recobrimento nas zonas do fuste interior

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

Nesta zona foi efetuada uma sondagem para uma medição real do varão detetado, os valores obtidos foram diâmetro 16mm e um recobrimento 36mm. O varão posto a descoberto não apresenta qualquer indício de corrosão e as nervuras indicaram tratar-se de um varão A400 NR (Documentos de classificação LNEC, 2014).

Estas sondagens pontuais que se repetiram noutras zonas deste estudo tiveram por finalidade aferir com rigor os valores obtidos com o equipamento de deteção de armadura (Ferroscan) (Fig. 5.4) que nesta zona apresentou uma diferença de $\pm 2\text{mm}$ em relação à medição *in situ*, valor que foi considerado desprezável.

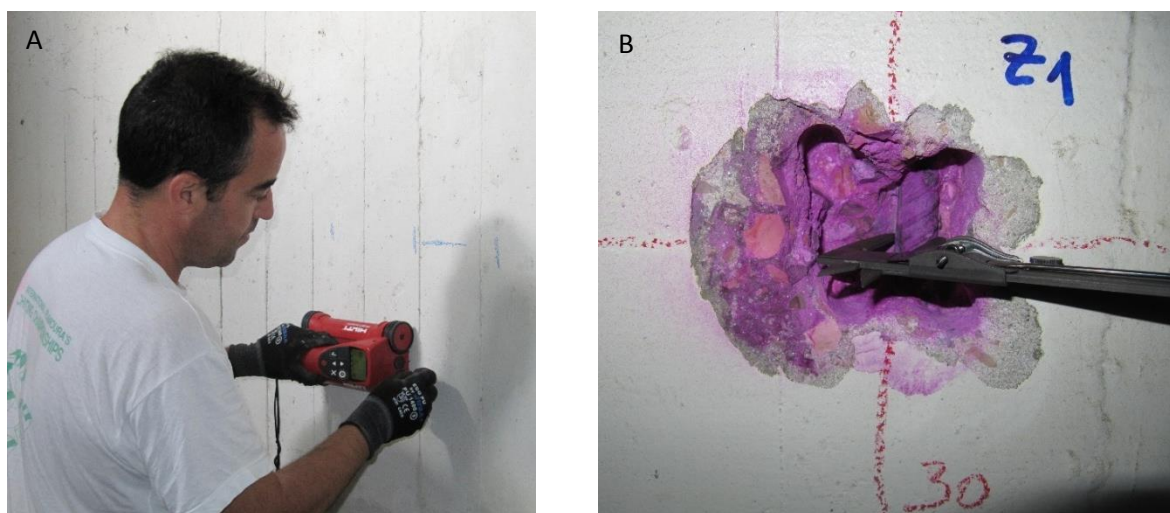


Fig. 5.4 – Fotografia dos ensaios de deteção de armadura e medição de recobrimentos com o Ferroscan (A) e sondagem para medição de recobrimento e diâmetro de varão para aferição do equipamento (B).

b) Zona 2 - Fuste base interior nível 2

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 30 mm e máximo de 54mm, a média dos valores obtida foi de 43mm e o valor do desvio padrão foi 5.

Cerca de 40% dos valores de recobrimento estão compreendidos no intervalo [41-45mm] (Fig. 5.3).

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20 cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

c) Zona 3 - Fuste base interior nível 3

A malha de armadura detetada nesta zona, apresenta recobrimento mínimo de 16 mm e máximo de 28mm, a média dos valores obtida foi de 22mm e o valor do desvio padrão foi 3.

Aproximadamente 60% dos valores de recobrimento estão compreendidos entre [21-25mm] (Fig. 5.3).

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

d) Zona 4 - Fuste base interior nível 4

A malha de armadura detetada nesta zona, apresenta recobrimento mínimo de 34 mm e máximo de 52mm, a média dos valores obtida é de 43mm e o valor do desvio padrão é 4.

Aproximadamente 40% dos valores de recobrimento estão compreendidos no intervalo [41-45mm] (Fig. 5.3).

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

Relativamente ao valor médio dos recobrimentos, estes apresentaram uma ligeira variação na zona 3 quando comparado com as restantes três zonas, onde os recobrimentos médios, eram superiores nomeadamente comparando os 22mm (médios) na zona 3 com 30,43 e 43mm nas outras zonas. O projeto definia para superfícies que não estivessem em contacto com água nem com o exterior um recobrimento mínimo de 20 mm. Embora todas as zonas acabem por cumprir o recobrimento mínimo especificado em projeto, este recobrimento consideram-se insuficientes uma vez que as imperfeições decorrentes da fase de obra associadas a más práticas de construção, como sejam o incorreto posicionamento das armaduras dentro da cofragem, a falta de colocação de espaçadores entre a armadura e o referido molde, a ausência de vibração do betão a quando da betonagem, a recorrente falta de cura do betão e por fim a possibilidade de o betão poder sofrer contaminações diversas, justificam claramente a imposição de recobrimentos mais conservativos.

ii) - Fundaçõesa) Zona 7 -Fundação

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 38 mm e máximo de 63 mm, a média dos valores obtida foi de 50 mm e o valor do desvio padrão foi 6.

Cerca de 90% dos valores de recobrimento estão compreendidos entre [41-60mm] (Fig. 5.5).

A armadura superficial é a armadura vertical.

O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20 cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

Nesta zona, foi efetuada uma sondagem para uma medição real do varão detetado quer no seu diâmetro quer no seu recobrimento e o resultado obtido foi respetivamente 16 mm e 54mm. Por comparação das nervuras observadas foi possível confirmar que se trata de um aço A400 NR (Documentos de classificação LNEC, 2014). O varão posto a descoberto não apresenta qualquer indício de corrosão. A diferença relativa ao valor real foi de ± 3 mm, valor considerado desprezível.

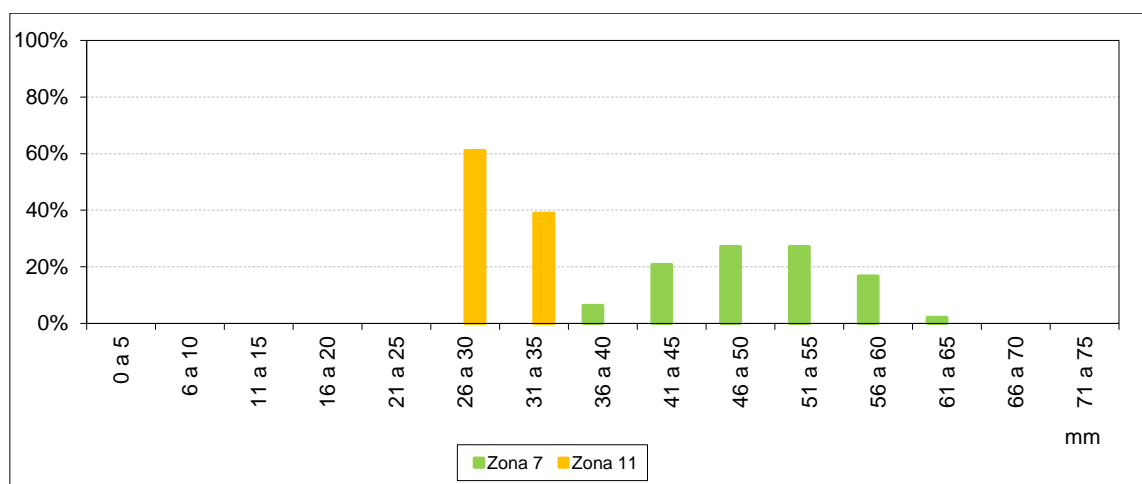


Fig. 5.5 – Distribuição dos valores de recobrimento da zona das fundações.

b) Zona 11 -Fundação

A malha de armadura detetada nesta zona, apresenta recobrimento mínimo de 26 mm e máximo de 34mm, a média dos valores obtida é de 30mm e o valor do desvio padrão é 2.

Aproximadamente 60% dos valores de recobrimento estão compreendidos entre [26-30mm] (Fig. 5.5).

A armadura superficial é a armadura vertical

O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20 cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

A duas zonas de ensaio ao nível da fundação permitiram concluir que a estrutura é semelhante em toda a sua extensão apresentando a armaduras superficial um diâmetro de 16mm classe A400 NR (Documentos de classificação LNEC, 2014) e malha quadrada de aproximadamente 20x20cm, no

entanto quando comparamos os recobrimentos das duas zonas de ensaio, deparamo-nos com um recobrimento médio bastante díspar na relação respetivamente 30/50 (zona 7/zona 11).

O projeto não define um recobrimento mínimo específico para as fundações no entanto o recobrimento mais conservativo que define é de 40mm para zonas em contacto com água, admitindo que o ensaio foi feito pelo interior e nesta zona a estrutura não está em contacto com água e encontra-se numa zona protegida das ações climáticas, poderá considerar-se que mesmo para a zona mais desfavorável com recobrimento médio de 30mm, não estará comprometida a função de proteção das armaduras por falta de recobrimento.

Esta disparidade entre as duas zonas analisadas revela pouco cuidado na fase de execução da obra nomeadamente no correto posicionamento da armadura dentro da cofragem.

iii) - Arranque da cuba e cuba

a) Zona 5 – Arranque da cuba

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 10 mm e máximo de 38mm, a média dos valores obtida foi de 23mm e o valor do desvio padrão foi 7.

Cerca de 30% dos valores de recobrimento eram inferiores a 20mm (Fig. 5.6).

A armadura superficial é a armadura vertical.

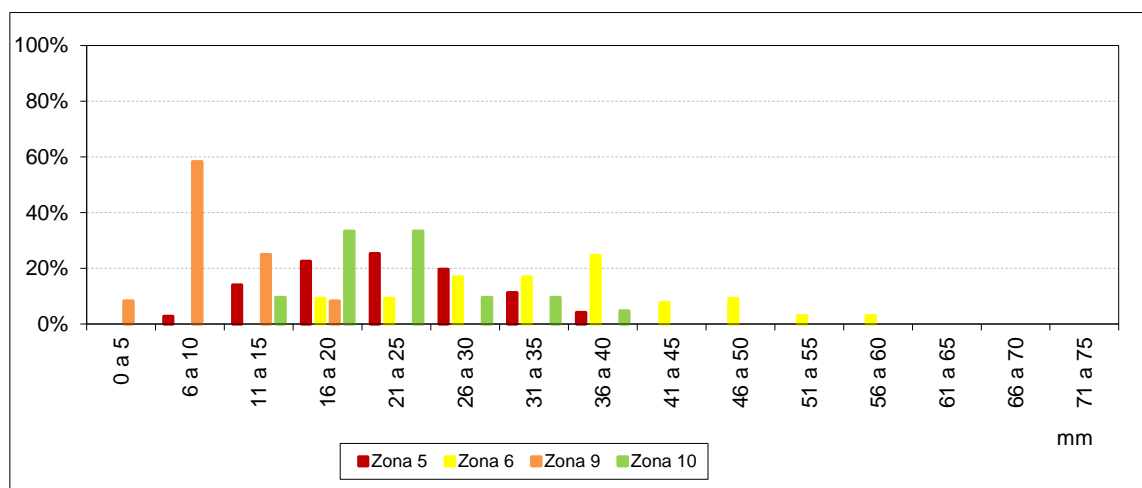


Fig. 5.6 – Distribuição dos valores de recobrimento da zona interior do arranque da cuba e da cuba.

O espaçamento entre varões é de aproximadamente 10 cm para a armadura vertical e aproximadamente 15cm para a horizontal.

Nesta zona, foi efetuada uma sondagem para uma medição real do varão detetado quer no seu diâmetro quer no seu recobrimento e o resultado obtido foi respetivamente 12mm e 31mm. O varão posto a descoberto não apresenta qualquer indício de corrosão, e as nervuras indicaram tratar-se de

varão A400 NR (Documentos de classificação LNEC, 2014). A diferença relativa ao valor real foi de ± 4 mm, valor considerado desprezível.

b) Zona 6 – Arranque da cuba

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 18 mm e máximo de 58mm, a média dos valores obtida foi de 35mm e o valor do desvio padrão foi 10.

Cerca de 10% dos valores de recobrimento são inferiores a 20mm, ou seja, não cumprem o definido em projeto. De um modo geral os valores do recobrimento apresentam uma grande dispersão (Fig. 5.6).

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 10 cm para a armadura vertical e 15cm para a horizontal.

c) Zona 10 – Arranque da cuba

A malha de armadura detetada nesta zona, apresenta recobrimento mínimo de 14 mm e máximo de 37mm, a média dos valores obtida é de 22mm e o valor do desvio padrão é 6.

Cerca de 30% dos valores de recobrimento são inferiores a 20mm (Fig. 5.6).

A armadura superficial é a armadura vertical.

O espaçamento entre varões é de aproximadamente 10 cm para a armadura vertical e aproximadamente 15cm para a horizontal.

d) Zona 9 –Cuba

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 4 mm e máximo de 18mm, a média dos valores obtida foi de 10mm e o valor do desvio padrão foi 3.

Esta zona apresenta todos os valores de recobrimento muito inferiores ao definido (Fig. 5.6) em projeto que define 40mm como valor mínimo a adotar para zonas em contacto com água, no entanto e tratando-se da face mais afastada do contacto com a água localizada no interior do reservatório, esta não apresenta sintomas de corrosão de armaduras.

A armadura superficial é a armadura vertical.

O espaçamento entre varões é de aproximadamente 10 cm para a armadura vertical e aproximadamente 15cm para a horizontal.

5.3.2.2 – Análise dos resultados no exterior do reservatório

No exterior do reservatório foram estudadas 4 zonas que se designam por zona 8,14,12 e 13 com distribuição vertical de baixo para cima pela ordem numérica da respetiva zona.

O agrupamento e análise conjunta das 4 zonas exteriores, teve em conta como principal fator a exposição aos fatores ambientais e consequente vulnerabilidade à degradação do betão armado e consequente corrosão de armaduras que comprometem fortemente a durabilidade da estrutura.

a) Zona 8 - Fuste exterior base nível 1

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 20 mm e máximo de 44mm, a média dos valores obtida foi de 29mm e o valor do desvio padrão foi 5.

Aproximadamente 60% dos valores de recobrimento estão compreendidos entre [26-30mm](Fig.5.7).

A armadura superficial é a armadura vertical.

O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20 cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

Nesta zona, foi efetuada uma sondagem para uma medição real do varão detetado quer no seu diâmetro quer no seu recobrimento e o resultado obtido foi respetivamente 12mm e 28mm. O varão posto a descoberto não apresenta qualquer indício de corrosão e as nervuras observadas indicaram tratar-se de um varão A400 NR.

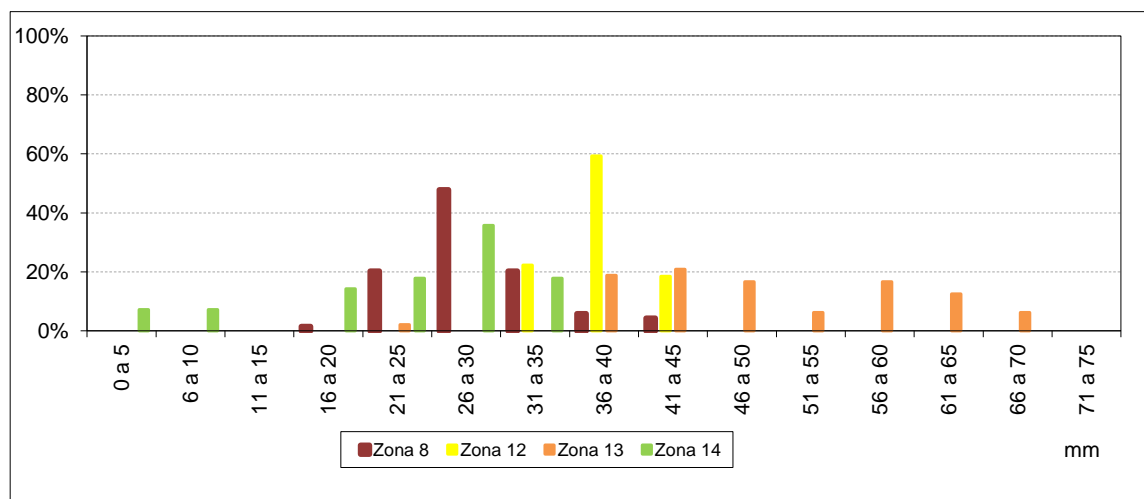


Fig. 5.7 – Distribuição dos valores de recobrimento das zonas exteriores.

d) Zona 14 - Fuste exterior elevado

O estudo das zonas exteriores elevadas foi feito com recurso a uma auto-escada gentilmente cedida pelos bombeiros de Cacilhas (Fig. 5.8). A malha de armadura detetada nesta zona,

apresentou recobrimento mínimo de 4 mm e máximo de 34mm, a média dos valores obtida foi de 23mm e o valor do desvio padrão foi 9.

Cerca de 90% da armadura não cumpre o recobrimento mínimo definido em projeto que para zonas exteriores como é o caso desta malha é de 30mm. Esta zona apresenta sintomas graves de degradação da estrutura uma vez que ocorre delaminação do betão com exposição de armadura e perda ligeira de secção do varão exposto. (Fig. 5.9).

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20 cm.



Fig. 5.8— Fotografia da auto-escada dos bombeiros de Cacilhas que permitiu o acesso às zonas exteriores elevadas (A) e deteção de armadura com Ferroskan na zona 12 (B).

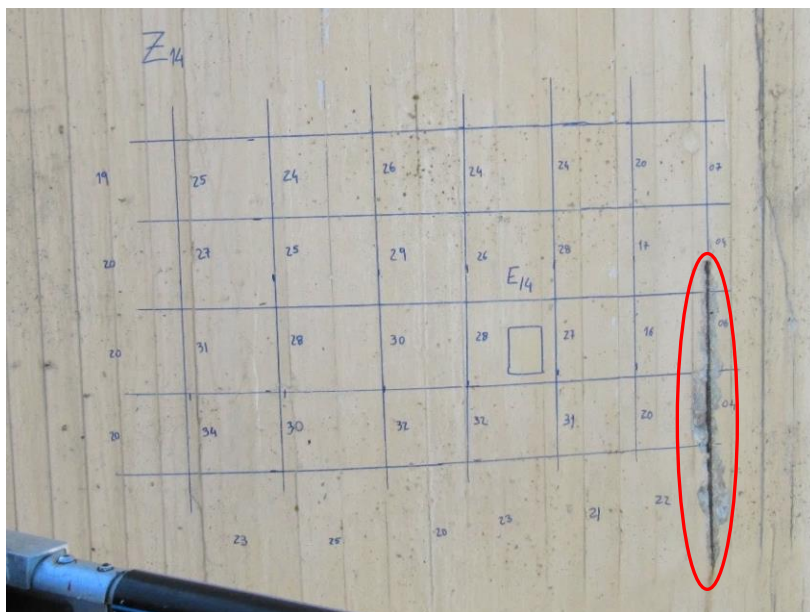


Fig. 5.9 – Fotografia da zona 14 com sintomas graves de degradação incluindo delaminação do betão e exposição de armadura assinalada com (0).

b) Zona 12–Fuste exterior elevado

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 31 mm e máximo de 44mm, a média dos valores obtida foi de 38mm e o valor do desvio padrão foi 3.

Nesta malha de armadura todos os valores de recobrimento excedem o recobrimento mínimo especificado em projeto não se detetando visualmente sinais de corrosão.

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões é de aproximadamente 20 cm para a armadura vertical e o mesmo para a horizontal formando malha quadrada de aproximadamente 20x20cm.

c) Zona 13 -Cuba exterior

A malha de armadura detetada nesta zona, apresentou recobrimento mínimo de 23 mm e máximo de 70mm, a média dos valores obtida foi de 50mm e o valor do desvio padrão foi 11.

Excluindo um valor pontual de 23 mm de recobrimento, todos os valores de recobrimento medidos nesta malha de armadura excedem o mínimo definido no projeto, na malha não se identificam indícios de corrosão de armaduras, no entanto, conforme se pode observar na (Fig. 5.10) existem na proximidade desta zona de ensaio problemas expressivos de corrosão de armaduras que se consideram ter origem no processo construtivo utilizado e que se discute a seguir.

A armadura superficial é a armadura vertical. O espaçamento entre varões verticais é de aproximadamente 10cm a armadura horizontal esta disposta com afastamentos de aproximadamente 15cm.



Fig. 5.10 – Fotografia da malha detetada na zona 13 e zonas adjacentes onde é possível observar zonas com betão delaminado (0) e onde se observa corrosão de armaduras.

5.3.3. – PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO DO BETÃO

A medição da profundidade de carbonatação no betão foi medida em seis zonas distintas, quatro pelo interior (Z1, Z5, Z7 e Z10) e dois no exterior (Z8 e Z13).

Os valores das profundidades de carbonatação obtidos foram reduzidos e não ultrapassaram os 5mm. Na maioria das malhas detetadas o recobrimento é suficiente e garante a proteção da armadura uma vez que os varões se encontram afastados dos valores médios da frente de carbonatação no entanto na Z13 e na Z9 onde se detetaram recobrimentos próximos ou mesmo inferiores a 5mm, a carbonatação poderá fazer despoletar a corrosão de armaduras conforme se pode observar na Fig. 5.10.

5.3.4. – DETERMINAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE CLORETOS

A determinação da penetração de cloretos foi efetuada em seis zonas distintas quatro pelo interior e dois no exterior respetivamente (Z1, Z5, Z7, Z10) e (Z8 e Z13).

A definição das profundidades para a recolha de pó teve em consideração zona a zona os respetivos recobrimentos das armaduras e garantiu-se uma recolha sempre a profundidade superior à do maior dos recobrimentos dessa zona (Fig. 5.11).

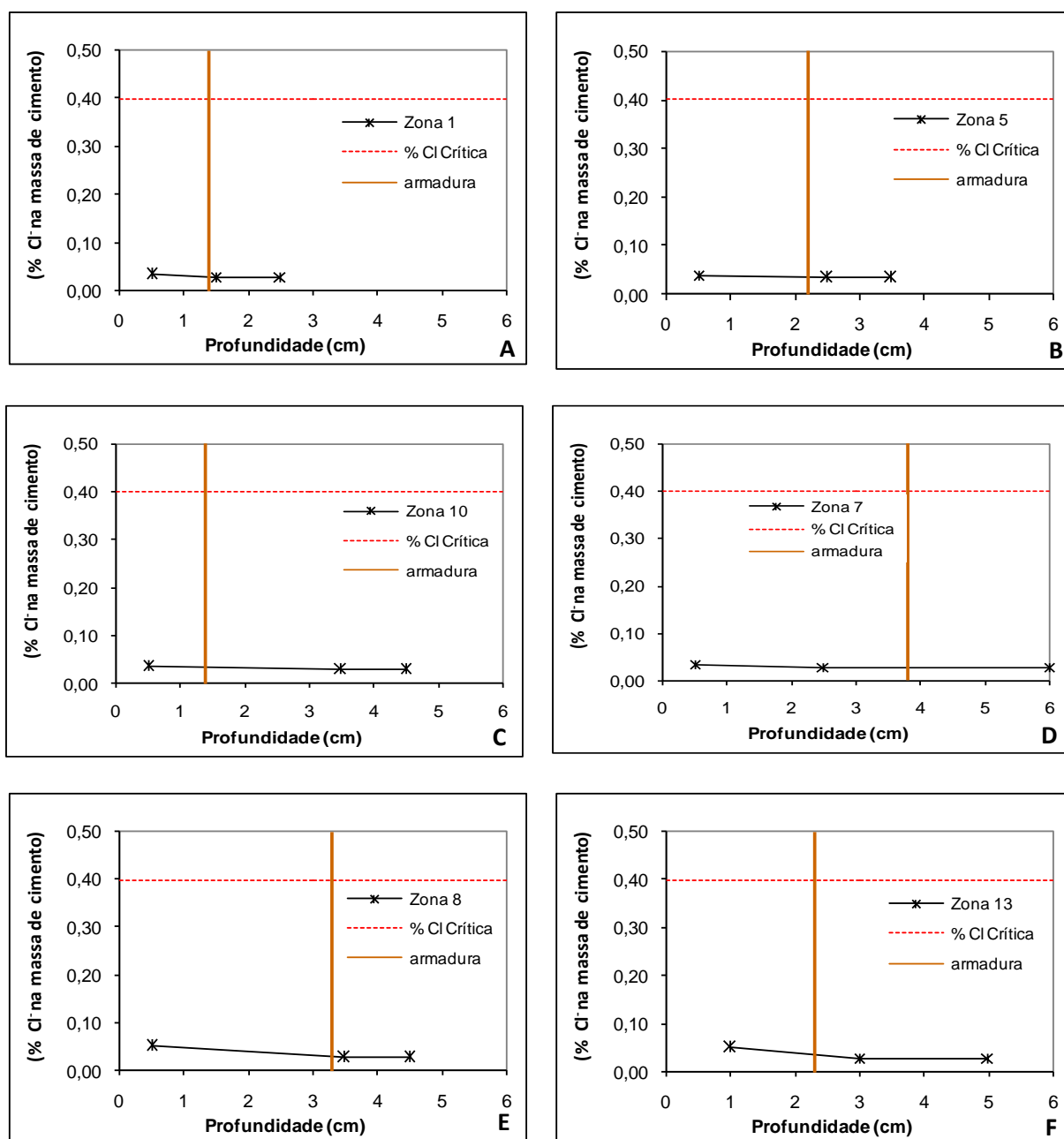


Fig. 5.11 - Estimativa do teor de cloretos presentes na massa de cimento, assinala-se o valor da percentagem de Cl⁻ crítico para este tipo de betão, bem como a localização da armadura tendo em conta o recobrimento mínimo de cada zona. A – Zona 1; B – Zona 5; C – Zona 10; D- Zona 7; E – Zona 8; F- Zona 13

Os valores obtidos para o teor de cloretos em percentagem do peso cimento diminuíram em todas as análises efetuadas do exterior para o interior, tendo-se obtido valores máximos desprezíveis para o risco de corrosão de armaduras (Brown, 1980 e Pullar-Strecker, 1987 citados em Costa, 1997).

A pintura exterior e interior do reservatório terão sido um fator importante para que a penetração de cloretos seja desprezível uma vez que os recobrimentos nem sempre registam valores mínimos que o assegurem.

5.3.5 – ENSAIOS ESCLEROMÉTRICOS

Os ensaios esclerométricos, por não serem intrusivos e por serem de simples execução, foram realizados em todas as zonas de ensaio. Analisando o quadro 5.3 verifica-se que a zona 5 e zona 6 ambas localizadas no arranque da cuba e representadas nos desenhos em CAD do Anexo A (Fig. A1 e A2), apresentam valores médios da tensão de rotura dos betões, estimados a partir do índice esclerométrico significativamente baixos quer em valor absoluto quer comparados com os valores obtidos nas restantes zonas ensaiadas.

As zonas de ensaio 7 e 11 referem-se às fundações, apresentadas nos desenhos do Anexo A (Fig. A.1 e A.2) apresentam valores médios da tensão de rotura dos betões, estimados a partir do índice esclerométrico de 34 e 38 MPa respetivamente, estes valores são substancialmente mais elevados quando comparados com os anteriores no entanto em valor absoluto não são excelentes.

As restantes zonas ensaiadas apresentam alguma homogeneidade nos valores obtidos que variam entre 28 e 42 MPa.

De salientar que estes resultados são representativos apenas da resistência superficial do betão (até 5 cm).

Para aferir com mais rigor estes valores esclerométricos foram extraídas 6 carotes para ensaio à compressão nas zonas, Z1, Z5, Z6, Z7, Z10 e Z11 exactamente sobre a superfície onde foram feitos os disparos com o esclerómetro conforme apresentado no Anexo A (Fig A.3 a A.8).

Quadro 5.3 – Resultados dos ensaios esclerométricos em 14 zonas de ensaio. do interior e exterior do reservatório do Cassapo.

Zona	Índice esclerométrico	Valor médio de tensão (MPa)	Variação
Z1 – Fuste interior base nível 1	41	42	7
Z2 – Fuste interior nível 2	33	28	6
Z3 – Fuste interior nível 3	38	39	6,5
Z4 – Fuste interior nível 4	40	40	7
Z5 - Arranque da cuba	25	16	4,5
Z6 - Arranque da cuba	23	14	4,5
Z7 - Fundações	36	34	6,5
Z8 – Fuste exterior base nível 1	37	36	6,5
Z9 - Cuba	33	28	6
Z10 - Arranque da cuba	40	40	7
Z11 - Fundações	39	38	6,5
Z12 - Arranque da cuba exterior	36	34	6,5
Z13 - Cuba exterior	34	30	6,5
Z14 - Fuste exterior elevado	33	28	6

5.3.6 – CARACTERIZAÇÃO DAS CAROTES

As carotes retiradas (Fig. 5.12) apresentam a seguinte caracterização:

Carote Z1 - Betão homogéneo de cor clara com agregados bem distribuídos apresentando granulometria variada de origem predominantemente calcária com diâmetro máximo aproximado de 25mm. O betão apresenta alguns vazios cuja dimensão máxima é aproximadamente de 10mm. O corpo da carote apresenta regularidade cilíndrica e a zona marcada para retificação apresenta também alguns vazios.

Carote Z5 - Betão homogéneo de cor clara com agregados bem distribuídos apresentando granulometria variada de origem predominantemente calcária com diâmetro máximo aproximado de 20mm. O betão apresenta alguns vazios cuja dimensão máxima é de aproximadamente 5mm. O corpo da carote apresenta forma cilíndrica com ligeiras irregularidades resultantes do corte efetuado entre armadura vertical com um espaçamento reduzido, no entanto a zona marcada para retificação apresenta regularidade cilíndrica e poucos vazios.

Carote Z6 - Betão homogéneo de cor clara com agregados bem distribuídos apresentando granulometria variada de origem predominantemente calcária com diâmetro máximo aproximado de 22mm. O betão apresenta alguns vazios cuja dimensão máxima é de aproximadamente 5mm. O corpo da carote apresenta regularidade cilíndrica e a zona marcada para retificação não apresenta vazios significativos.

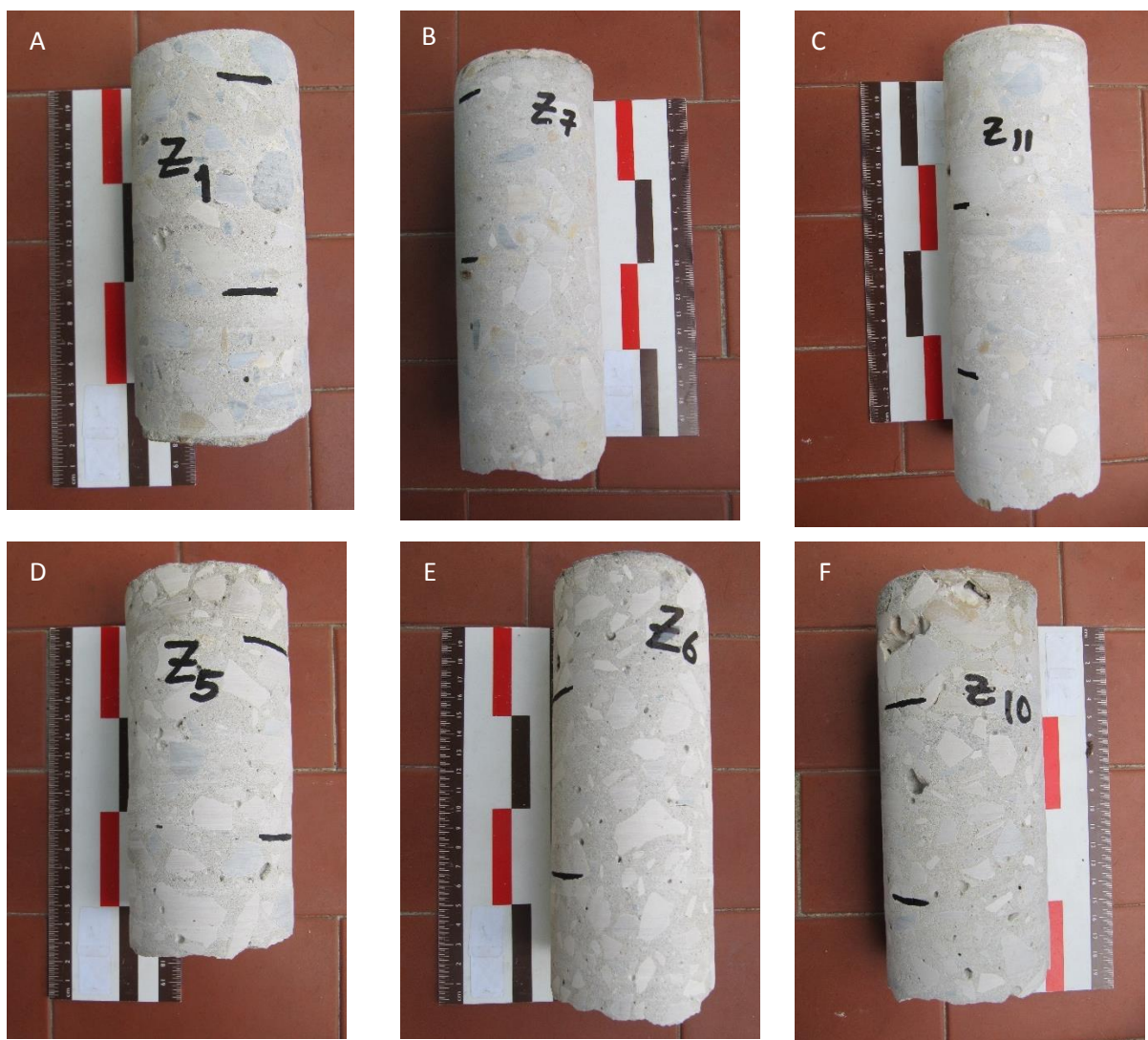


Fig. 5.12 – Fotografia das carotes retiradas. A – Carote Z1 (Zona 1 – Fuste interior base nível 1); B – Carote Z7 (Zona 7 – Fundações); C – Carote Z11 (Zona 11 – Fundações); D - Carote Z5 (Zona 5 – Arranque da cuba interior); E - Carote Z6 (Zona 6 – Arranque da cuba); F Carote Z10 – (Zona 10 – Arranque da cuba).

Carote Z7 - Betão homogêneo de cor clara com agregados bem distribuídos apresentando granulometria variada de origem predominantemente calcária com diâmetro máximo aproximado de 20mm. O betão não apresenta vazios significativos e os existentes são de dimensão máxima aproximada de 3mm. O corpo da carote apresenta regularidade cilíndrica e a zona marcada para retificação não apresenta vazios.

Carote Z10 - Betão homogêneo de cor clara com agregados bem distribuídos apresentando granulometria variada de origem predominantemente calcária com diâmetro máximo aproximado de 20mm. O betão apresenta vazios muito significativos com predominância na zona junto à superfície revelando segregação de inertes formando “ninhos de inertes” com dimensão máxima de 30mm.

O corpo da carote apresenta regularidade cilíndrica e a zona marcada para retificação está afastada dos vazios mais expressivos no entanto a zona a ensaiar depois de retificada ainda apresenta um único vazio com dimensão aproximada de 8mm.

Carote Z11 - Betão homogéneo de cor clara com agregados bem distribuídos apresentando granulometria variada de origem predominantemente calcária com diâmetro máximo aproximado de 20mm. O betão não apresenta vazios significativos e os existentes são de dimensão muito reduzida e sem expressão. O corpo da carote apresenta regularidade cilíndrica e a zona marcada para retificação está isenta de vazios.

As carotes ensaiadas à compressão apresentam as características indicadas no quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Características das carotes ensaiadas à compressão

Carote	Dimensão	Diâmetro (mm)	Varões	Retificação a partir do topo	Localização
Z1	155	75	-	20	Fuste
Z5	150	75	-	30	Arranque da cuba
Z6	180	75	-	55	Arranque da cuba
Z7	190	75	-	15	Fundação
Z10	165	75	-	50	Arranque da cuba
Z11	210	75	-	80	Fundação

Os ensaios à compressão dos seis provetes cilíndricos foram realizados pelo laboratório acreditado da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto (APEB).

As carotes foram ensaiadas de acordo com a NP EN 12504 - 1:2009, o ensaio foi realizado no dia 3/10/2014 tendo dado origem ao relatório L14/005600 datado de 7/10/2014 (Anexo B).

Os resultados obtidos dos ensaios à compressão, foram analisados pela norma NP EN 13791 - 2008, em função do número de carotes extraídas, do seu diâmetro e altura. O ponto 7 da referida norma, estabelece dois métodos de abordagem A e B para a obtenção da estimativa da resistência à compressão *in situ*, a abordagem efetuada seguiu o método B por se tratar do método considerado para a análise de 3 a 14 carotes (ponto 7.3.2 da NP EN 13791 - 2008).

A estimativa da resistência à compressão *in situ* característica da zona de ensaio é o menor valor da:

- Média dos resultados de n ensaios da resistência à compressão *in situ* subtraído do coeficiente de afetação associado a pequeno número de resultados de ensaios (k).

Ou

- - Menor resultado do conjunto dos ensaios da resistência à compressão *in situ* adicionado de 4.

Desta análise, obteve-se o valor de resistência à compressão *in situ* característica de 37,27 MPa (zona 5, 6 e 7) verificando assim a exigência de projeto que definia um betão B20 atual C16/20.

Da análise comparativa dos valores de resistência à compressão obtidos por ensaio de carotes em laboratório, com os valores obtidos através dos ensaios esclerométricos e conclui-se que não é possível estabelecer correlação entre os valores obtidos pelo que prevalecem como referência os valores obtidos em laboratório.

A não existência de correlação entre valores poderá dever-se ao facto das amostras retiradas apresentarem um elevado índice de vazios à superfície (zona sujeita ao disparos esclerométricos) o que já não se verifica nos provetes cilíndricos ensaiados uma vez que são cortados e retificados eliminando os topos e evitando o betão de qualidade inferior.

5.3.7 – LEVANTAMENTO DAS FENDAS EXISTENTES NO RESERVATÓRIO ELEVADO DO CASSAPO

A estrutura apresenta diversas anomalias de natureza construtiva e estrutural, nomeadamente, a presença de fissuração com orientação vertical e horizontal como se pode observar na Fig. 5.13.

A ocorrência de uma fenda com orientação horizontal que contorna toda a cuba, é resultado de uma falha grave no processo construtivo a quando da transição de betonagem da laje soleira da cuba para as paredes e uma outra, menos significativa, no topo da cuba. Esta fenda também contorna toda a estrutura e tal como a primeira é resultante de uma transição de betonagem. Na fenda mais expressiva (transição de betonagem da laje de soleira da cuba para as paredes), procedeu-se à medição pontual da sua abertura tendo-se registado aberturas entre os 0,25 mm e os 0,55 mm que se podem observar na Fig. 5.14.

Estas fendas trespassam a secção de betão com evidências de escorrências do interior para o exterior arrastando sais, eventualmente sais de cálcio, possivelmente provenientes dos agregados calcários presentes no betão depois de estarem sujeitos à passagem de água por longos períodos (Fig. 5.14 e 5.15).

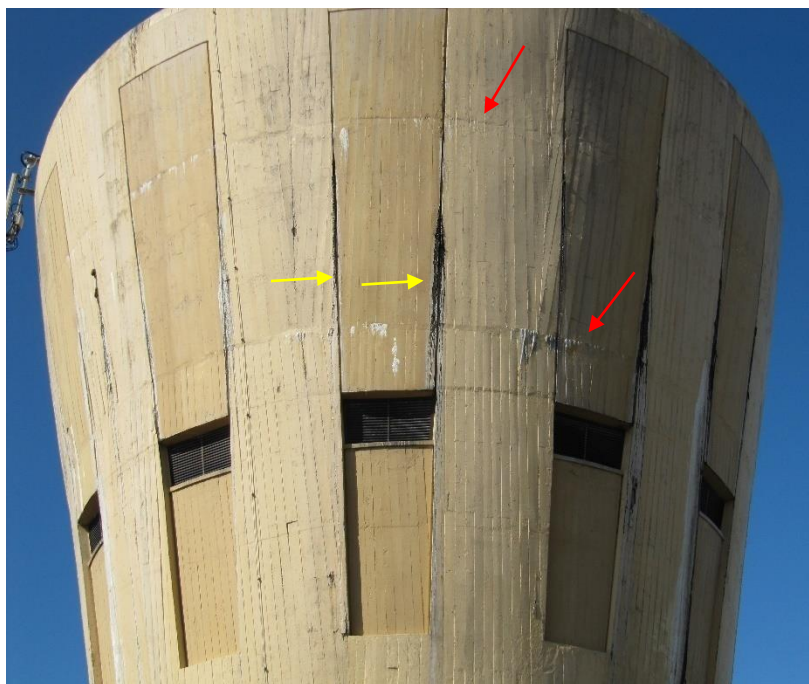


Fig. 5.13 – Aspeto exterior do reservatório ao nível do arranque da cuba e da cuba. É visível a fenda horizontal que contorna toda a cuba (→) e as fendas verticais que acompanham o efeito estético da zona superior do reservatório (→).

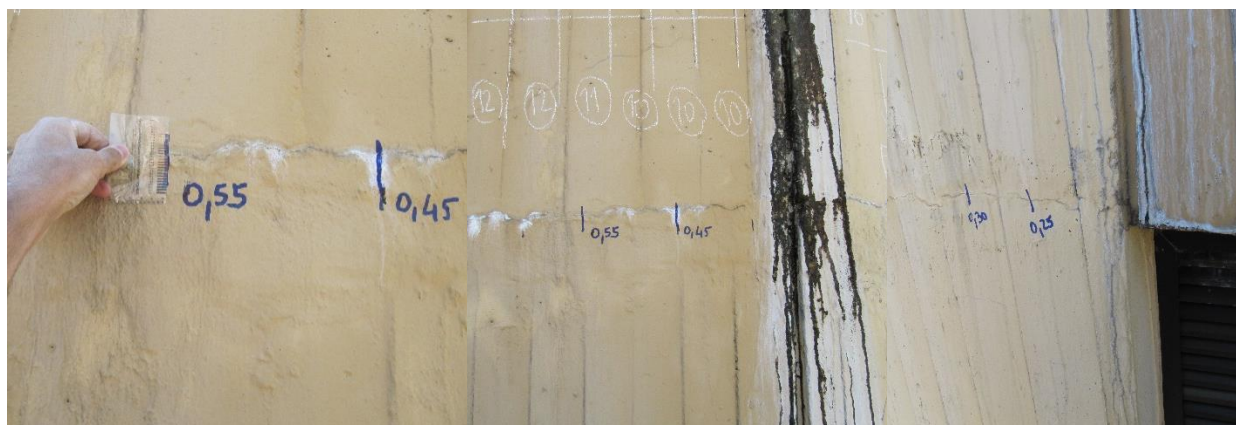


Fig. 5.14 – Medição da abertura da fenda horizontal ao nível da soleira da cuba. Registaram-se valores de abertura de fendas entre os 0,25 mm e os 0,55 mm.



Fig. 5.15 – Observação de escorrências do interior para o exterior com arrastamento de sais, provavelmente sais de cálcio (0) com origem provável nos agregados calcários constituintes do betão.

A ocorrência de fendas verticais é sistemática, a sua localização repete-se contornando a cuba e acompanhando o efeito estético do exterior da cuba composto por canaletes verticais que formam 12 gomos. Também aqui se considera que o processo construtivo para a execução deste efeito estético não tenha sido executado de forma adequada, comprometendo seriamente os recobrimentos com a criação de “costuras” verticais. Note-se que nestes alinhamentos verticais não existe qualquer transição de armadura em relação à armadura da cuba que justifique a métrica deste fenómeno (Fig.5.12).

De um modo geral não ocorrem outras fendas para além das descritas.

5.3.8. - OUTRAS ANOMALIAS RELEVANTES

5.3.8.1. - Juntas de betonagem

O processo construtivo e o acompanhamento técnico da obra, revelaram algumas falhas graves nomeadamente ao nível das transições entre betonagens (juntas de betonagem). As fronteiras entre os elementos betonados em períodos diferentes evidenciam pouca cautela na ligação de betão fresco ao betão aplicado nos dias antecedentes tendo ficado como testemunho desta falta de cuidado a imperfeição geométrica visível nestas transições, formando “anéis” aproximadamente equidistantes ao longo do fuste e cuba do reservatório (Fig. 5.16).



Fig. 5.16 – Vista do fuste do reservatório, assinalam-se as juntas de betonagem (→).

5.3.8.2. - Compactação e vibração do betão

As superfícies de betão-armado apresentam inúmeras zonas com vazios e poros (Fig. 5.17) resultantes de uma vibração insuficiente do betão na fase de betonagem. A dimensão dos agregados constituintes do betão evidencia ser ajustada à densidade de armadura uma vez que, mesmo com vibração insuficiente não se registam “ninhos de agregados”/ “ninhos de inertes”.



Fig. 5.17 – Fotografia de pormenor do betão onde se observam vários vazios e poros.

5.3.8.3. - Pintura

O reservatório encontra-se pintado pelo interior e pelo exterior, no entanto desde a sua construção altura em que foi pintado, até aos dias de hoje nunca mais sofreu qualquer intervenção de

manutenção a este nível o que tem contribuído para a sua degradação, por corrosão de armaduras, em algumas zonas pontuais no exterior, que apresentam recobrimentos diminutos.

A ausência de uma pintura de qualidade associada a zonas com recobrimentos insuficientes, muitas vezes ainda com elevada porosidade superficial, são fatores que potenciam a chegada de água ao contacto com as armaduras despoletando o processo de corrosão.

5.3.9. - MEDIDAS CORRETIVAS

Face as anomalias identificadas e descritas anteriormente, as medidas corretivas que vierem a ser adotadas deverão ser objeto de um projeto de execução suficientemente pormenorizado elaborado por entidade familiarizada com a reabilitação de estruturas, devendo ter em consideração os mecanismos de degradação identificados. A solução a adotar bem como a escolha dos materiais e processo construtivo para a realização das reparações deverá ser tomada em fase de elaboração do projeto de execução.

5.3.9.1. - Reparação de anomalias resultantes da corrosão de armaduras

A reparação de zonas localizadas como as observadas no reservatório elevado do Cassapo deverá consistir nos seguintes trabalhos:

- Delimitação das zonas degradadas com recurso a equipamento de corte com disco diamantado, de forma a constituir zonas de reparação retangulares ou quadradas com fronteiras de aresta bem delineada e com uma profundidade de corte de pelo menos 10 mm para garantir uma aderência eficaz do material de reparação a aplicar ao material existente. O corte do betão a sanear deve ser executado com especial cuidado de forma a não danificar a armadura existente.
- Saneamento do betão em zonas delaminadas com recurso a martelos demolidores ligeiros com guilhos pontiagudos. Para garantir eficácia da reparação, deve remover-se todo o betão degradado bem como o betão envolvente que se encontre carbonatado para que o material de reparação venha, efetivamente, a promover a adequada proteção alcalina dos varões.
- Os varões que se encontrem com corrosão superficial, devem ser limpos através da utilização de martelo elétrico de agulhas e ou escovas de aço com posterior tratamento com produto inibidor de ferrugem.
- Reposição da geometria da secção do elemento estrutural através da aplicação de argamassas de reparação de base cimentícia, de retração controlada, e que cumpra os requisitos da NP EN 1504-3.

5.3.9.2. - Reparação de fendas

A reparação de fendas só será eficaz se forem, eliminadas as causas que estão na sua origem. Desta forma interessa perceber se se está perante fendas ativas ou passivas para adequar a intervenção.

Para a reparação da fenda horizontal que se desenvolve na fronteira entre a laje de fundo da cuba e as paredes da mesma deve proceder-se da seguinte forma:

- Despejo da cuba para limpeza e decapagem geral com água e areia a alta pressão de toda a zona a reparar.
- Picagem dos bordos das juntas e fendas de forma a remover todo o material solto, pelo interior e pelo exterior.
- Deve proceder-se à injeção de ar ao longo da fenda para promover a limpeza e secagem dos bordos fissurados.
- Admitindo que as fendas se encontram estabilizadas, ou que a variação da abertura das fendas é pequena (inferior a 1/3 do valor da sua abertura), deve proceder-se à injeção de resina de epóxico flexível de 2 componentes com 100% de sólidos, de baixa viscosidade, não retráctil. Pode utilizar-se resina hidro-activa de poliuretano de muito baixa viscosidade uma vez que este tipo de resinas expandem em presença de água.
- A resina deverá ser injetada através de injetores previamente colocados ao longo da fenda e a pressão de injeção não deverá exceder o valor admissível que a selagem superficial da fenda possa suportar.
- A injeção deverá ser feita de baixo para cima, através das sucessivas aberturas onde foram colocados os injetores acautelando a formação de bolhas de ar.
- Os injetores devem estar criteriosamente espaçados para que se consiga garantir a chegada de resina de uns injetores aos seguintes, muitas vezes adota-se um espaçamento da mesma ordem de grandeza da profundidade a injetar.

5.3.9.3. - Aplicação de revestimento de proteção superficial.

O reservatório carece de intervenção urgente ao nível da proteção exterior. Assim propõe-se a aplicação de um novo revestimento de proteção superficial nas paredes de betão do reservatório que permita retardar o avanço da carbonatação e reduzir o teor de humidade nos poros do betão. O revestimento a aplicar deverá ser de base acrílica, elevada resistência à difusão de CO₂, dificultando fenómenos de carbonatação. O revestimento de proteção para o interior do reservatório poderá ser o mesmo que o aplicado no exterior com carácter de inibição de corrosão antecipando o possível avanço da frente de carbonatação.

A aplicação do revestimento proposto deverá ser efetuada da seguinte forma:

- A base a tratar deve estar isenta de gordura, pó, sujidade ou pintura em descasque, para garantir esta condição poderá recorrer-se à limpeza da superfície por meio de lavagem com jato de água de alta pressão. Caso a superfície se apresente com poros e irregularidades

deve proceder-se a aplicação de um barramento de regularização ou selagem de poros com argamassas de reparação estrutural, monocomponente reforçada com fibras com baixa retração.

Em qualquer um dos tratamentos aplicados para a preparação da superfície esta deverá ficar exposta ao ar pelo menos 4 dias com boas condições climatéricas para secagem.

- Após tratamento da base, e período de secagem, deve proceder-se aplicação do novo revestimento de proteção superficial. A aplicação do produto pode ser feita com recurso a pincel, trincha, rolo de pêlo curto ou por projeção com pistola “airless”. Deve garantir-se no mínimo duas de mão de forma a garantir uma espessura mínima da pintura de 240 µm.

5.3.9.4. - Reparação de juntas de betonagem

As juntas de betonagem na maioria das situações não apresentam desligamento das faces, com exceção das juntas horizontais que se localizam na cuba, cuja reabilitação foi descrita anteriormente (ponto 5.3.9.2. - Reparação de fendas).

Por se tratarem apenas de zonas inestéticas com sobre-espessura, poderá não ser necessário intervir uma vez que este fenómeno não compromete o desempenho da estrutura nem a sua durabilidade. Caso se opte por corrigir esta anomalia, poderá utilizar-se a mesma metodologia descrita em 5.3.9.1. Reparação de anomalias resultantes da corrosão de armaduras, Salienta-se o facto de este tipo de correções não resultar com a eficácia desejada em grande parte dos casos pois a geometria dos elementos não é facilitadora como é o caso do reservatório elevado do Cassapo com fuste cilíndrico e cuba tronco-cónicas.

6

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Após avaliação geral dos reservatórios elevados do Concelho de Almada, concluiu-se que o seu estado geral é razoável com exceção dos reservatórios do Cassapo e Estrelinha.

O reservatório da Estrelinha, não foi priorizado neste trabalho por se tratar de um reservatório que se encontra fora de serviço, no entanto a sua reabilitação não deverá ser descurada uma vez que este continua a ser utilizado como base de instalação de antenas de telecomunicações. O aspeto estético também justifica a sua conservação e a possibilidade de poder vir a entrar novamente em serviço em situações excecionais não deverá ser descartada.

O reservatório elevado do Cassapo, priorizado neste estudo, apresenta diversas anomalias de natureza construtiva e estrutural, nomeadamente, a presença de imperfeições geométricas que se distribuem ao longo de todo o fuste e cuba, resultantes de falhas graves no tratamento das juntas de betonagem na fase de construção.

O posicionamento da armadura também não foi acautelado e o resultado desta falha na fase construtiva, veio a revelar-se através dos ensaios de deteção de armadura. Da análise dos resultados foi possível concluir que a malha de armadura pelo interior do reservatório cumpre os requisitos mínimos especificados em projeto, no entanto, o mesmo não acontece na malha exterior, onde se identificou a ocorrência localizada de delaminação do betão e recobrimentos inferiores aos definidos em projeto.

A profundidade de carbonatação e teor de cloretos, não são expressivos, pontualmente, o recobrimento diminuto das armaduras associado à porosidade superficial do betão e à presença de oxigénio, reuniram por si, condições para a existência de corrosão de armaduras.

A cuba do reservatório apresenta fendas horizontais resultantes de juntas de betonagem onde por pressão hidrostática a sua abertura ocorreu, não se tendo verificado o mesmo fenómeno em zonas semelhantes, afastadas da cuba não sujeitas a pressões elevadas.

Ainda na cuba mas com orientação vertical, identificaram-se fendas que se repetem sistematicamente em todo o perímetro da cuba, esta anomalia tipificada, resulta de um efeito estético tipo “canalete

vertical” mal executado na fase de construção que levou a que nessas zonas o recobrimento tenha sido fortemente prejudicado.

Face à situação encontrada, propõem-se a correção das anomalias tendo em conta a durabilidade e desempenho do reservatório, para esse efeito dever-se-á tratar as armaduras que apresentem indícios de corrosão, proceder à colmatação das fendas existentes e aplicar uma pintura inibidora de corrosão em todo o reservatório.

A metodologia aplicada e os ensaios realizados permitiram identificar e caracterizar com detalhe o estado de conservação do reservatório, no entanto, poderá ser útil recorrer a ensaios que permitam avaliar o potencial de corrosão (medição de potenciais elétricos) em zonas com recobrimento reduzido, onde já poderá ter tido início o processo de corrosão ainda não observável por manifestações externas. O despiste destas situações pontuais poderá fornecer dados sobre o risco de corrosão importantes para a elaboração cuidada do projeto de reabilitação.

Durante a realização deste trabalho, não foi possível inspecionar o interior da cuba bem como a cobertura do reservatório, zonas que deverão ser inspecionadas e avaliadas antes da elaboração de um projeto de reabilitação.

Antes de se proceder à reabilitação do reservatório, seria importante e economicamente vantajoso fazer um estudo do comportamento sísmico do reservatório para identificar eventuais necessidades de reforço para melhoria do comportamento do reservatório face ao sismo.

Caso se venha a proceder à análise do comportamento sísmico, será necessário, recorrer a ensaios de identificação modal, geológicos e geotécnicos e/ou outros que se venham a verificar necessários.

A verificar-se ser necessário proceder a reforço da estrutura, o reforço deverá ser aplicado antes de algumas das reparações propostas neste estudo.

A realização deste trabalho permitiu delinear uma metodologia que poderá ser utilizada pelos SMAS de Almada nos restantes reservatórios elevados e que permitirá atuar preventivamente nestas infraestruturas vitais ao abastecimento de água à população.

A manutenção preventiva é sem dúvida, uma opção sustentável nomeadamente no que diz respeito aos tempos de paragem (períodos com interrupção do abastecimento de água), perdas de água, e degradação avançada.

Neste âmbito, e sendo os SMAS de Almada, detentores de um vasto património edificado, considera-se importante a implementação alargada de planos de manutenção preventiva para as restantes infraestruturas (reservatórios apoiados, enterrados, semi-enterrados, ETARs, estações elevatórias, e restantes edifícios). Cada vez mais, está provado que é através desta abordagem sustentável que se prolonga a vida útil dos equipamentos e se reduzem tempos de paragem que implicam custos avultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR J. (2000) “Materiais para a reparação de estruturas de betão” REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas. Ed. S. Pompeu Santos, Mary Mun& Paulo Silveira. p. 539-545.
- BRAZÃO FARINHA M & PEREIRA ARAÚJO R. (2000) “Reabilitação de estruturas de betão armado por meio de uma injeção de pré-polímeros líquidos hidro-activos de poliuretano – Casos práticos da sua aplicação em Portugal.” REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas. Ed. S. Pompeu Santos, Mary Mun& Paulo Silveira. p. 689-704.
- BRITANNICA, 2014 Kuwait Towers. Photograph. Britannica Online for Kids. (<http://kids.britannica.com/comptons/art-424>) acedido em Setembro 2014.
- CHASTRE, C. (2014) “Materiais e tecnologias de reforço de estruturas de betão - potencialidade e limitações” In: REHABEND 2014 - Congresso Latinoamericano "Patología de la construcción, Tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio"., Santander, 2014, Espanha.
- CHASTRE, C. (2005) “Comportamento às acções cíclicas de pilares de betão armado reforçados com materiais compósitos”, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa, 2005. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil na especialidade de estruturas pela Universidade Nova de Lisboa,
- COSTA, A (1997) “Durabilidade de estruturas de betão armado em ambiente marítimo”; Tese de Doutoramento; Instituto Superior Técnico; 1997.
- COSTA, A, (2000) “Degradação de estruturas de betão armado e pré-esforçado por corrosão de armaduras”; REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas. Ed. S. Pompeu Santos, Mary Mun& Paulo Silveira p.147-156.
- COTTRELL C,(2012) “10 Industrial Water Towers Converted Into Awesome, Modern Homes” (<http://flavorwire.com/319722/10-industrial-water-towers-converted-into-awesome-modern-homes>)

- ENGENHARIA CIVIL, 2014 (www.engenhariacivil.com/forum/reservatorios-de-agua-incrivelmente-decorados-2232.html) acedido em Setembro 2014
- EPAL (2014) (<http://www.epal.pt/epal/Default.aspx>) acedido em Setembro 2014
- FLICKR, (2014) (<https://www.flickr.com/photos/phototouring/1233156591/>) acedido em Setembro 2014.
- GEOGRAPH, (2014) (<http://www.geograph.org.uk/photo/2601423>) acedido em Setembro 2014
- GERMANN INSTRUMENTS, 2014 (http://germann.org/?page_id=2041) Acedido em Junho 2014
- GOMES, A. & APPLETON, J. (1997) “Reforço de Estruturas de Betão Armado por Encamisamento das Secções” Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE), Série I, **42**, p.7-14.
- KEMPE M (2006) New England Water Supplies – A Brief History 385 years of drinking water, 125 years of New England Water Works Association Journal of New England Water Works Association. **120**, p 2-157
- LNEC LDC 60 – 4/2014 – Documento de classificação de 18 Agosto 2014.
- LOURENÇO Z. (2007). Cathodic protection of reinforced concrete structures, Corros. Prot. Mater **26**. p. 79-85
- LOURENÇO Z. (2007) “Aplicação de protecção catódica (CP) a estruturas de betão armado”. REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas. Ed. S. Pompeu Santos, Mary Mun & Paulo Silveira. p. 815-823.
- OZ diagnóstico <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20029.pdf> (Acedido em Maio 2014)
- PALMA J, MATOS C. & BORDA D' ÁGUA M. (2000) “Abastecimento público de água – Reabilitação de reservatórios.” REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas. Ed. S. Pompeu Santos, Mary Mun & Paulo Silveira. p. 79-88.
- SMAS (2009) “Documento de enquadramento estratégico (QREN 2007-2013).
- SMAS (2014) <http://www.smasalmada.pt/> (acedido entre Maio e Setembro de 2014)
- SARAIVA J. (2007) “Técnicas de protecção e reparação de estruturas de betão armado” Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 109 p.
- SCIENCE IN OVERSEAS (1961) New scientist 20 July
- SILVA T. (2007). Análise técnico-económica de alguns tipos de reparação de estruturas de betão

armado expostas a um ambiente marítimo. Dissertação apresentada para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. 80 p.

SOUSA, A (2008) Reparação, reabilitação e reforço de estruturas de betão armado Dissertação apresentada para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil Especialização em estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 88 p.

SOUSA, E. (2001). “Saneamento ambiental I”. *Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura – IST*. Setembro 2001

WIEZECISNIENM (2014) <http://www.wiezecisnien.eu/indexMetamorfozy.html> (acedido em Setembro 2014)

WIKIPEDIA, (2014) http://en.wikipedia.org/wiki/Louisville_Water_Tower (acedido em Setembro 2014).

WIKIPEDIA, (2014a) (<http://en.wikipedia.org/wiki/Goldbergturm>) (acedido em Setembro 2014).

ANEXO A

Desenhos em CAD do reservatório do Cassapo e das malhas de armadura

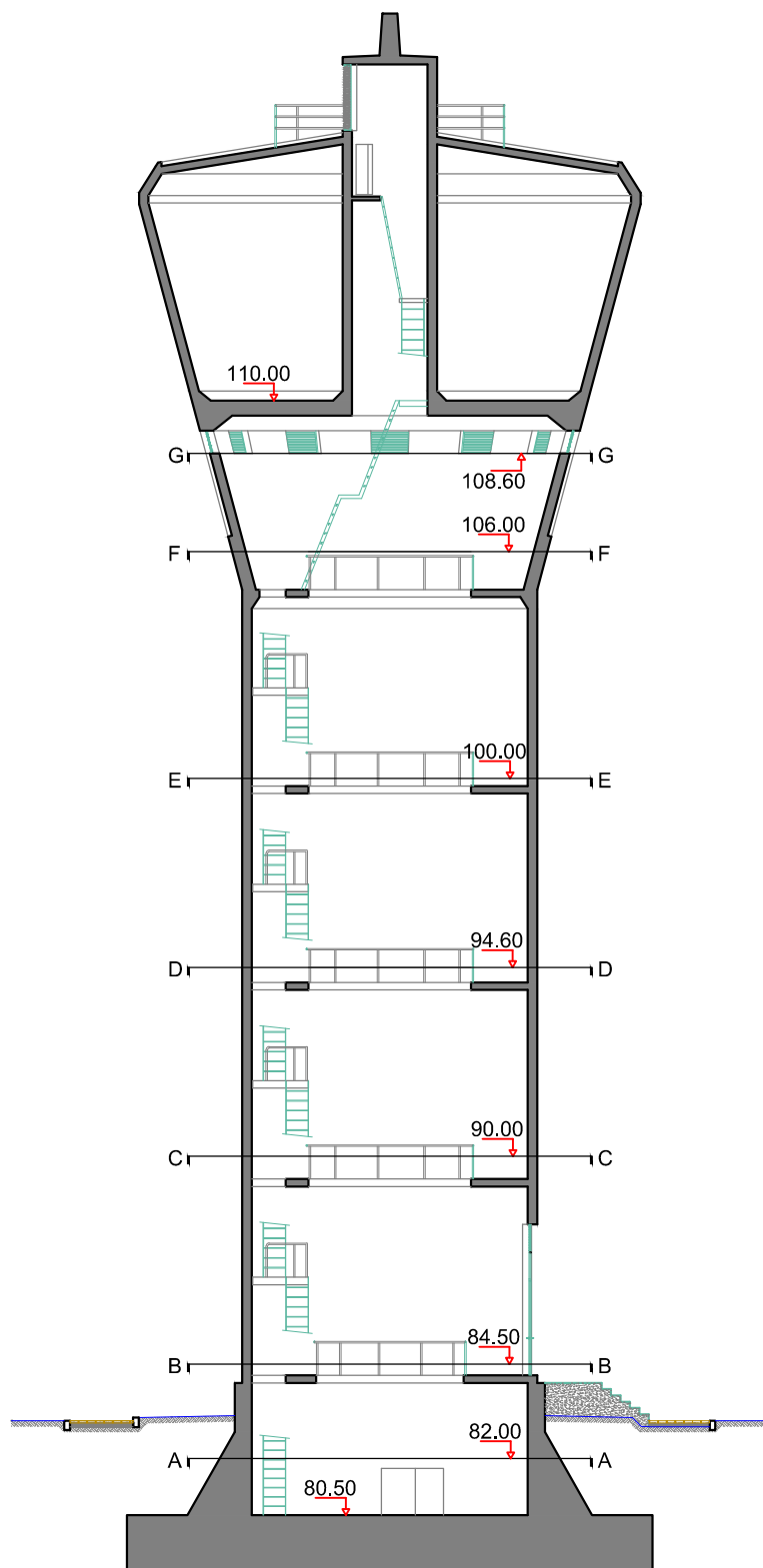
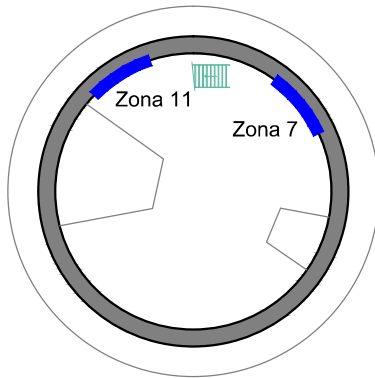
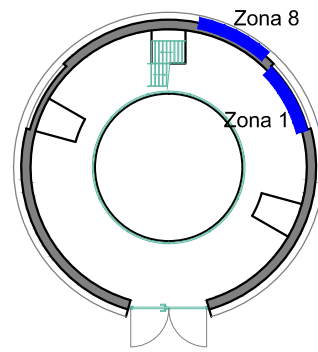


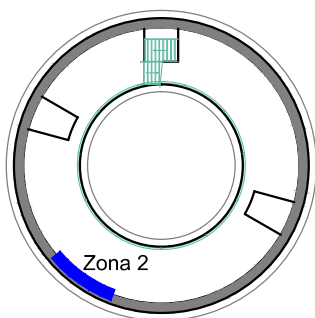
Figura A.1: Corte vertical do reservatório do Cassapo à escala 1:200



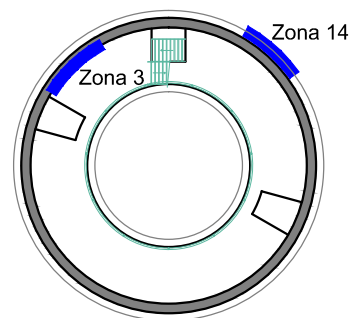
Corte AA (cota 82.00)



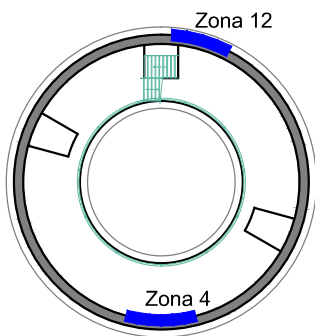
Corte BB (cota 84.50)



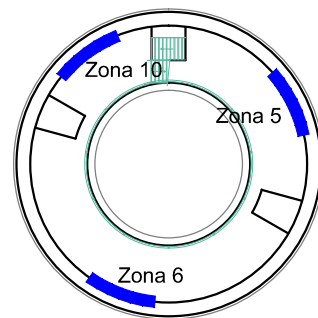
Corte CC (cota 90.00)



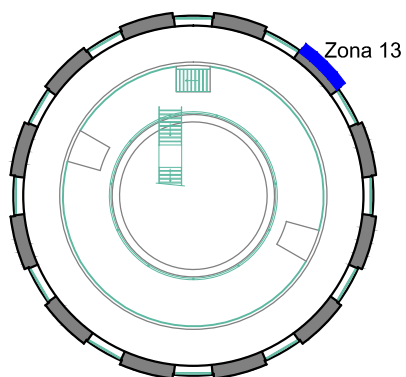
Corte DD (cota 95.00)



Corte EE (cota 100.00)



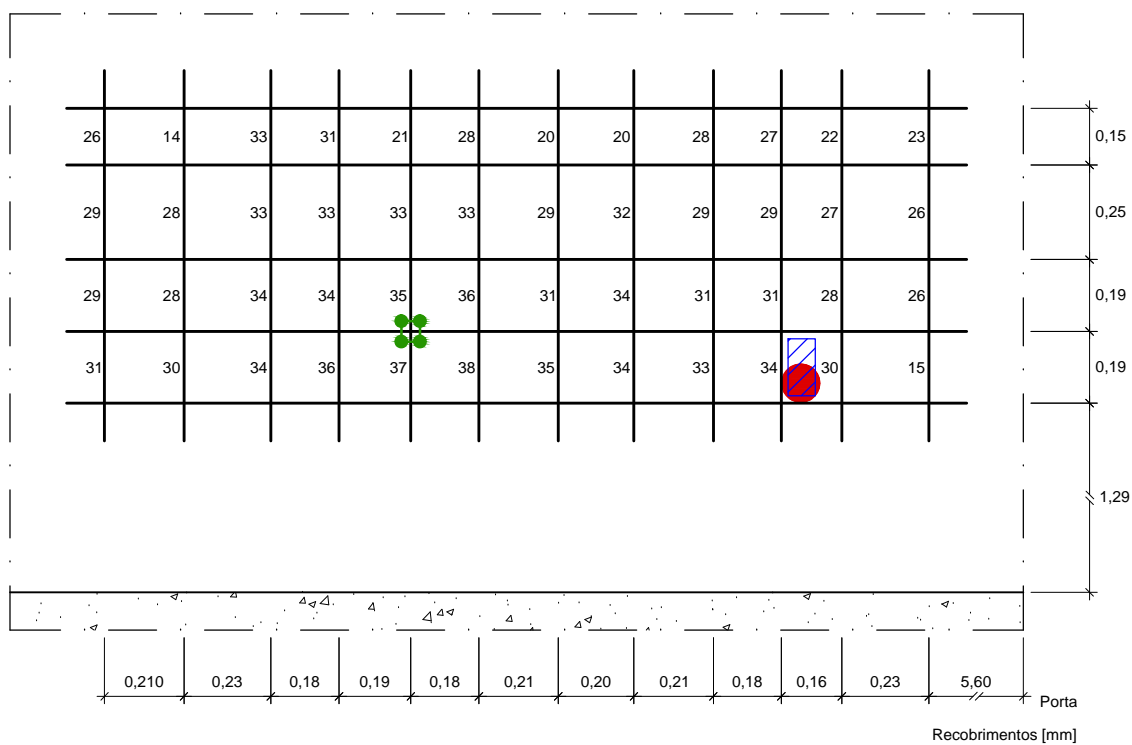
Corte FF (cota 106.00)



Corte GG (cota 108.60)

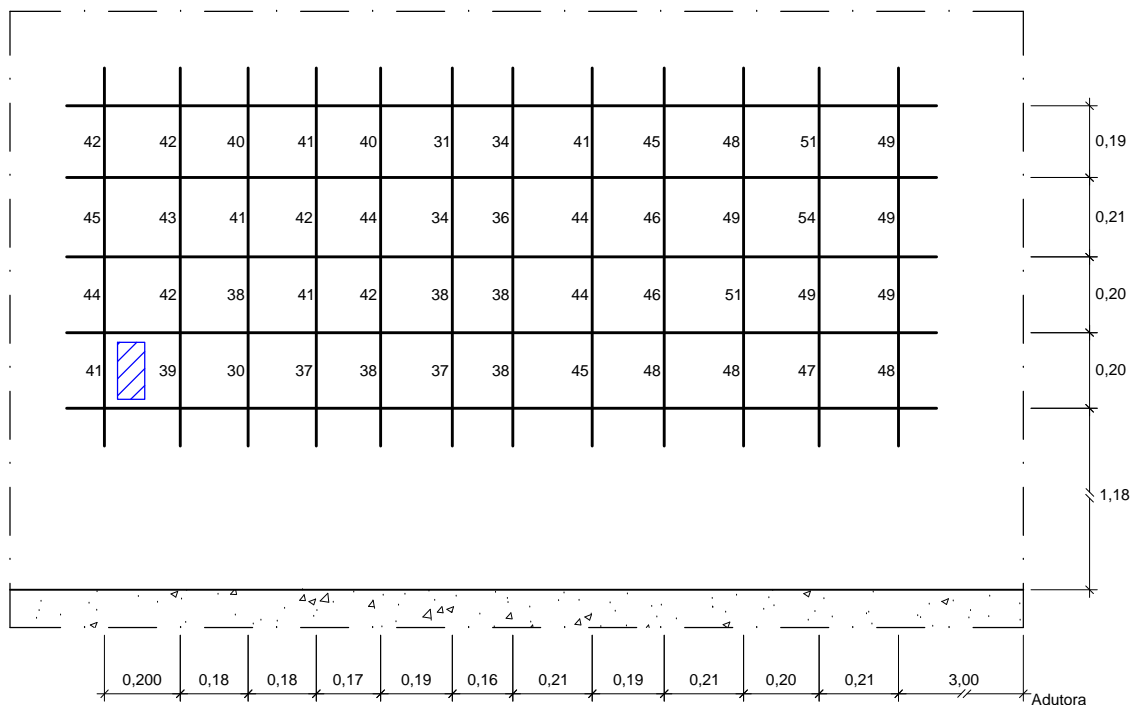
Figura A.2: Cortes transversais do reservatório do Cassapo AA à cota 82.00, BB à cota 84.50, CC à cota 90.00, DD à cota 95.00, EE à cota 100.00, FF à cota 106.00 e GG à cota 108.60 à escala 1:200, com indicação das zonas de intervenção.

Zona 1



- Armadura vertical Ø 16mm
- Recobrimento real 36mm
- Carbonatação 4mm

Zona 2



- Cloretos e sondagem



- Carote

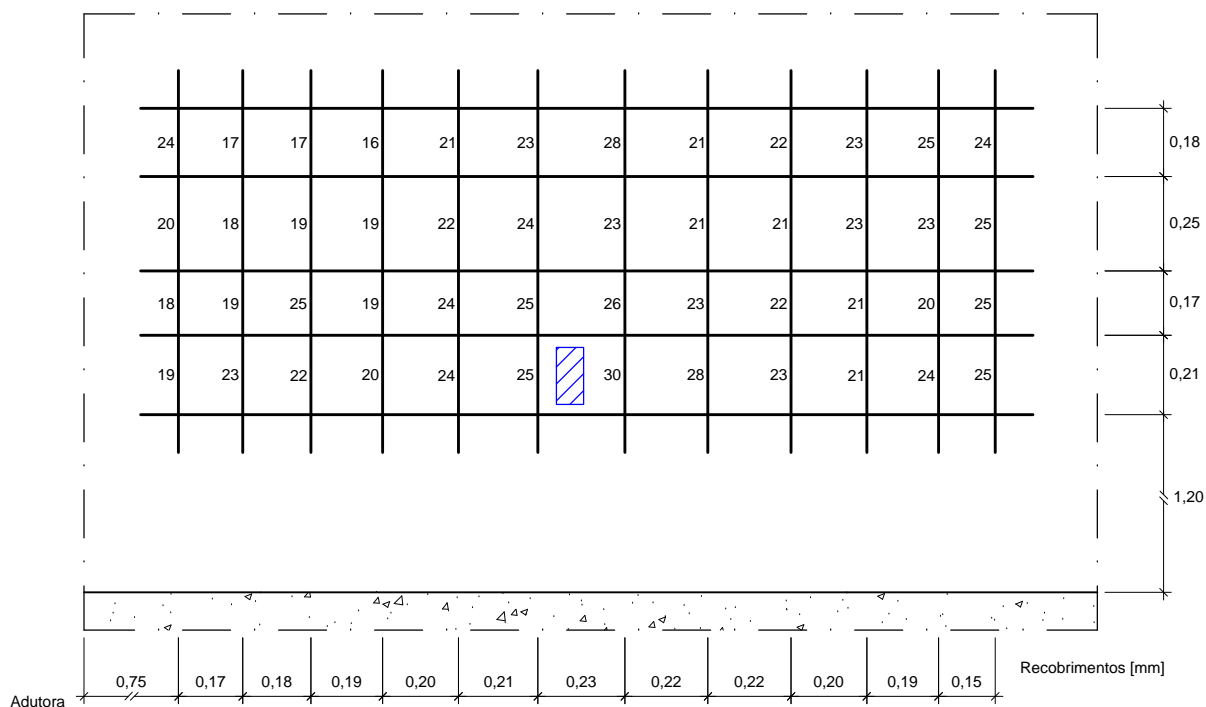


- Ensaio esclerométrico

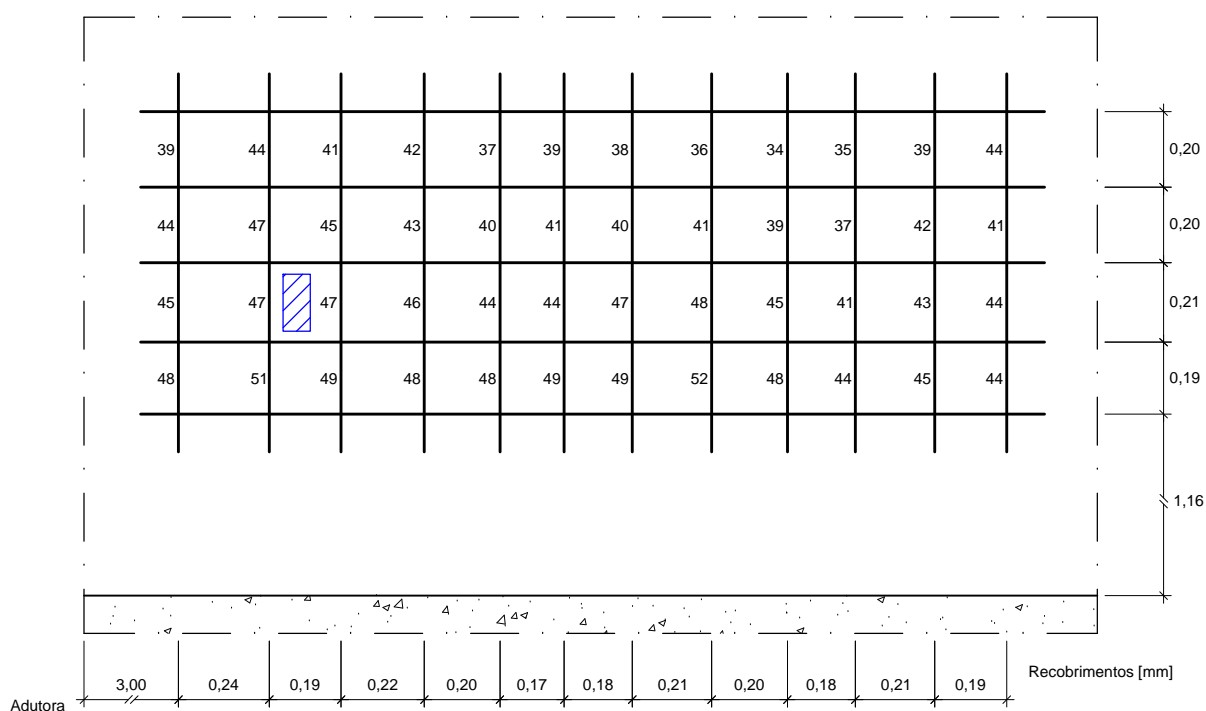
Recobrimentos [mm]

Figura A.3: Desenho com indicação dos recobrimentos e da localização das armaduras detectadas nas zonas 1 e 2. Indicação da localização dos ensaios de cloretos, carotes e esclerométricos.

Zona 3



Zona 4



- Clareamento e sondagem



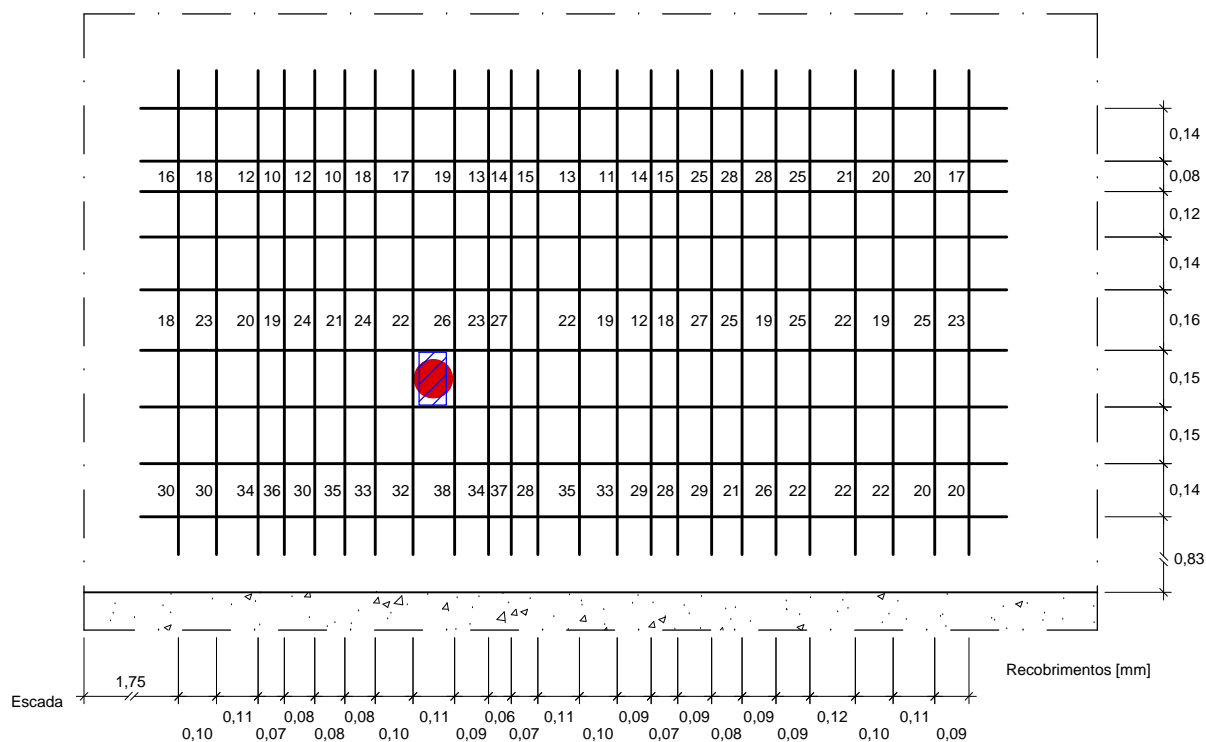
- Carote



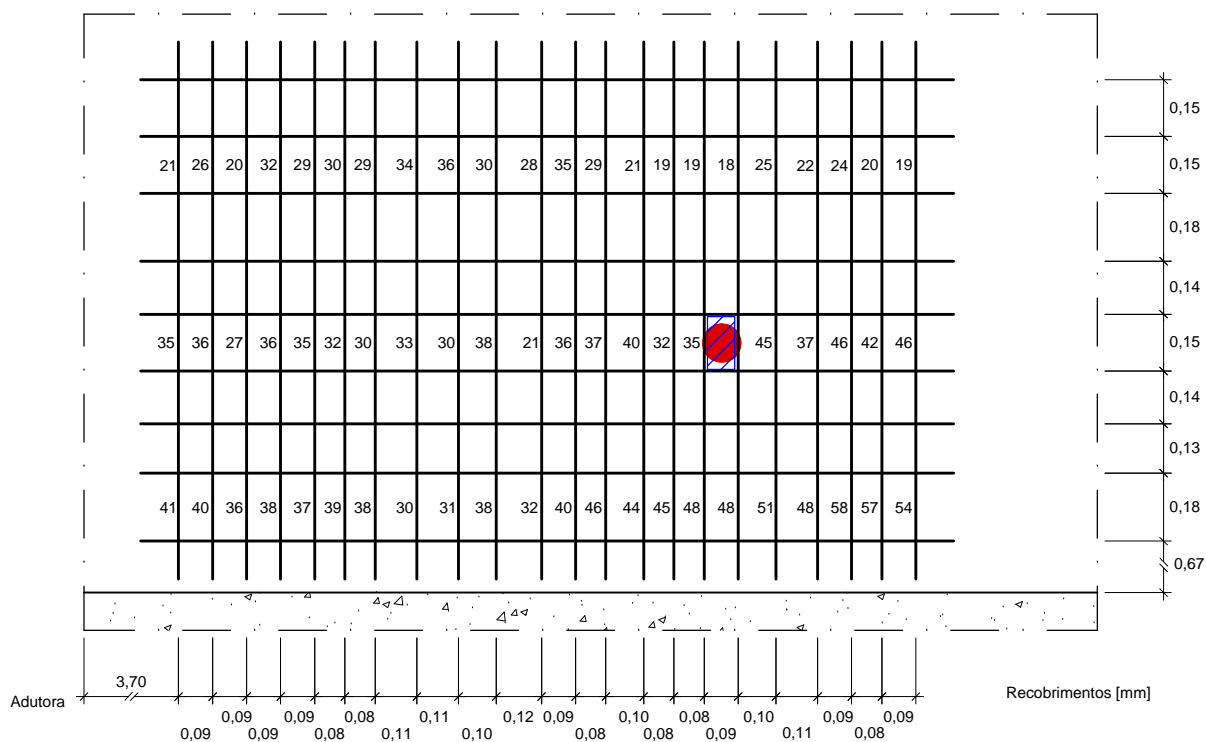
- Ensaio esclerométrico

Figura A.4: Desenho com indicação dos recobrimentos e da localização das armaduras detectadas nas zonas 3 e 4. Indicação da localização dos ensaios de clareamento, carotes e esclerométricos.

Zona 5



Zona 6



- Cloretos e sondagem



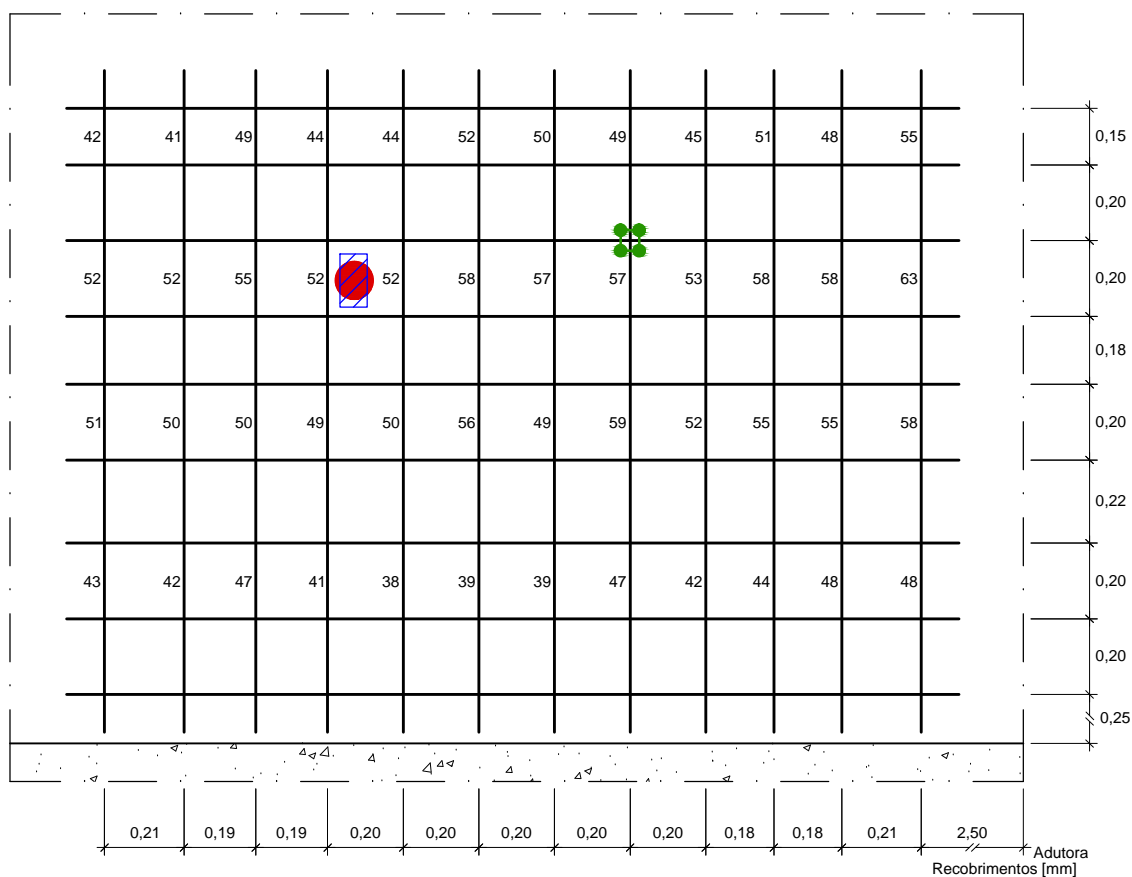
- Carote



- Ensaio esclerométrico

Figura A.5: Desenho com indicação dos recobrimentos e da localização das armaduras detectadas nas zonas 5 e 6. Indicação da localização dos ensaios de cloretos, carotes e esclerométricos.

Zona 7



Zona 8

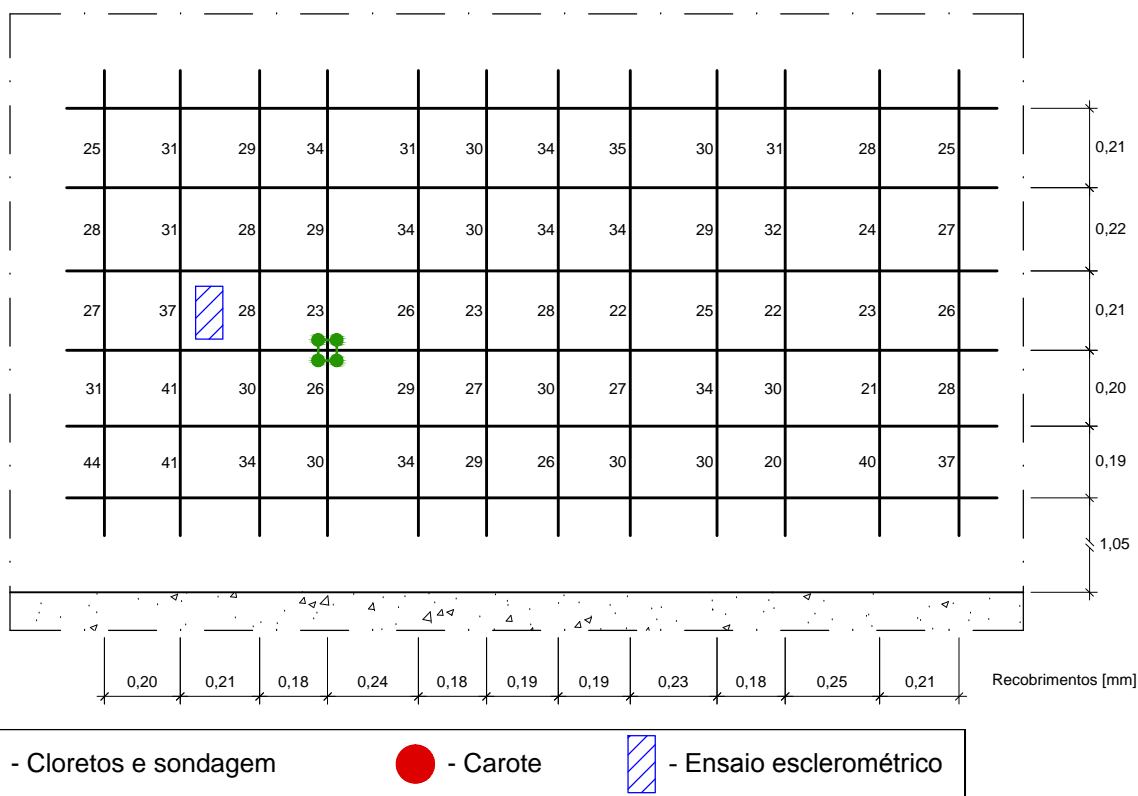
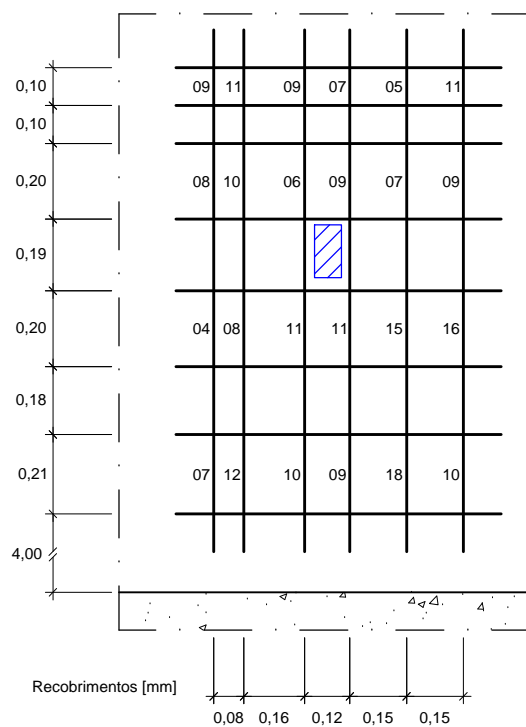
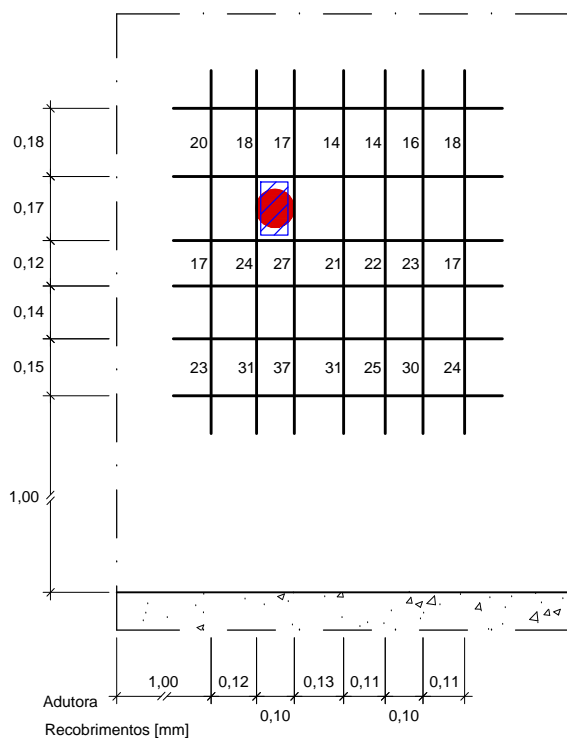


Figura A.6: Desenho com indicação dos recobrimentos e da localização das armaduras detectadas nas zonas 7 e 8. Indicação da localização dos ensaios de cloretos, carotes e esclerométricos.

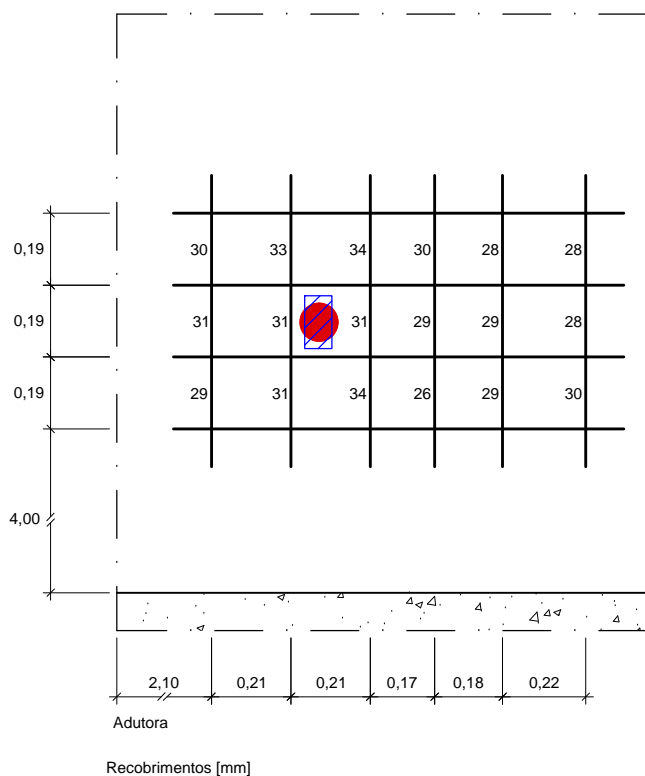
Zona 9



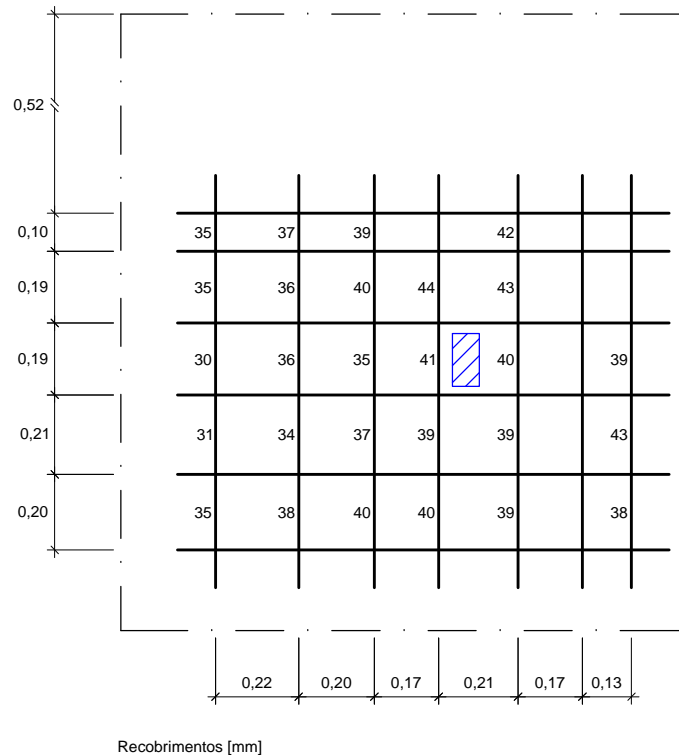
Zona 10



Zona 11



Zona 12



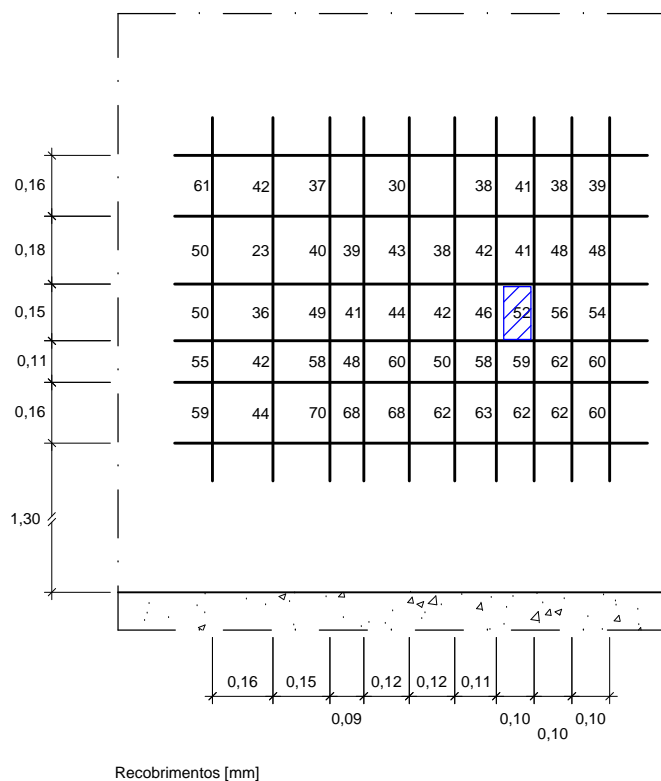
- Claretos e sondagem

- Carote

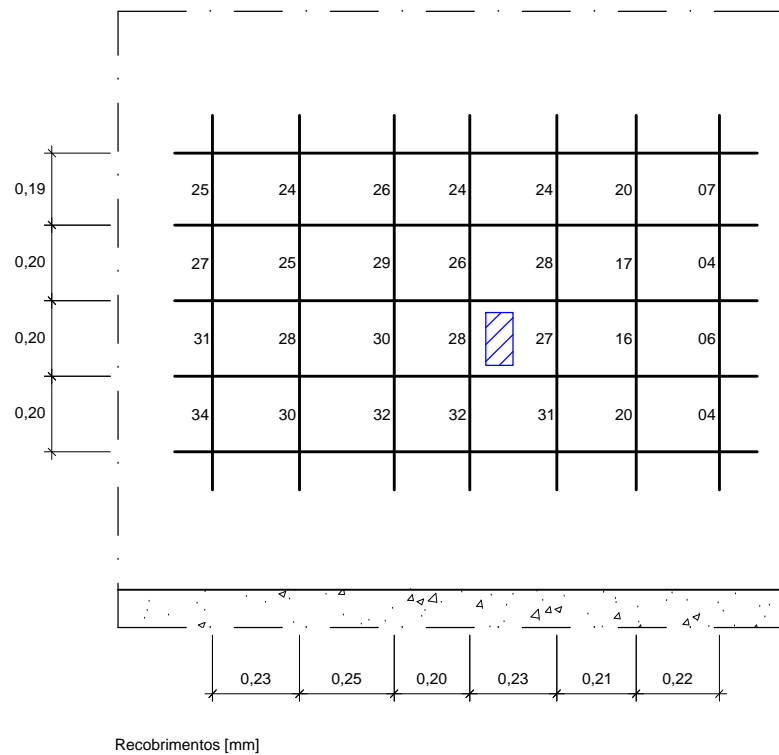
- Ensaio esclerométrico

Figura A.7: Desenho com indicação dos recobrimentos e da localização das armaduras detectadas nas zonas 9, 10, 11 e 12. Indicação da localização dos ensaios de claretos, carotes e esclerométricos.

Zona 13



Zona 14



- Claretos e sondagem



- Carote



- Ensaio esclerométrico

Figura A.8: Desenho com indicação dos recobrimentos e da localização das armaduras detectadas nas zonas 13 e 14. Indicação da localização dos ensaios de claretos, carotes e esclerométricos.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DAS EMPRESAS DE BETÃO PRONTO



Sede e Unidade Laboratorial de Lisboa:
Av.º Conselheiro Baía de Freitas, 13 A - 1500-204 LISBOA
Tel.: 21 776 53 65, 21 774 19 25, 21 774 19 32 - Fax: 21 776 58 39
Unidade Laboratorial do Porto:
Zona Industrial da Carriça, Lote 17 - 4745-312 MURO
Tel.: 22 966 74 00, 22 966 74 01, 22 966 74 02 - Fax: 22 966 74 08



RELATÓRIO DE ENSAIO

Processo: L14/00995

Ensaio: 3638

Relatório: L14/005600

Data: 07-10-2014

BETÃO DE LIGANTE HIDRÁULICO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Serviços M. de Água e Saneamento de Almada

Marca: --

Designação: --

Parcela Ricardo Jorge, nº 2

Requerente: Serviços M. de Água e Saneamento de Almada

2800-706 PRAGAL- ALMADA

Obra: Reservatório elevado do Cassapo - SMAS Almada

DIRETOR DE SERVIÇOS LABORATORIAIS

TÉCNICO DE DEB.º

Identificação: Seis carotes

Pedido: Guia de Remessa de 02/10/2014

Data de Entrada: 02-10-2014

João André

Rui Nogueira

NÚMERO DO PROVETE	DATA DE FABRICO	DATA DE ENSAIO	IDADE (Dias)	MASSA (kg)	SECÇÃO (mm²)	FORÇA (kN)	TENSÃO (MPa)
Z1	--	03-10-2014	--	0,76	4.418	86,5	19,6
Z5	--	03-10-2014	--	0,76	4.418	171,3	38,8
Z6	--	03-10-2014	--	0,76	4.418	175,3	39,7
Z7	--	03-10-2014	--	0,76	4.418	251,8	57,0
Z10	--	03-10-2014	--	0,77	4.418	239,8	54,3
Z11	--	03-10-2014	--	0,76	4.418	245,4	55,8

Carotes entregues pelo cliente.

Máxima dimensão nominal do agregado: -- mm. Anomalias identificadas por inspeção visual: Nenhuma

Condição da humidade superficial na altura do ensaio: estado seco.

Identificação da carote	Posicionamento da arradadora (mm)		Dimensões da carote como recebida (mm)		Relação comprimento/diâmetro da carote preparada
	distância à diâmetro	distância à face de compressão	comprimento	diâmetro	
Z1	--	--	158	75	1,0
Z5	--	--	161	75	1,0
Z6	--	--	193	75	1,0
Z7	--	--	203	75	1,0
Z10	--	--	185	75	1,0
Z11	--	--	222	75	1,0

As carotes foram cortadas, rectificadas por desgaste e ensaiadas de acordo com a norma NP EN 12504 - 1 :2009.

Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.

Página 1 de 1